
BACHELORARBEIT

Herr
Hans Hartmann

**Analyse der Arbeitsabläufe in
einer Postproduktion bei der
Erstellung eines computergene-
rierten Animationsfilms**

2012

BACHELORARBEIT

Analyse der Arbeitsabläufe in einer Postproduktion bei der Erstellung eines computerge- nerierten Animationsfilms

Autor:
Herr Hans Hartmann

Studiengang:
Angewandte Medienwirtschaft

Seminargruppe:
AM07wT2-B

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Rainer Zschockelt

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. Paul Florian Bruchhäuser

Einreichung:
Mittweida, 31.08.2012

BACHELOR THESIS

Analysis of the workflow in a post-production when creating a computer-generated animati- on film

author:
Mr. Hans Hartmann

course of studies:
Angewandte Medienwirtschaft

seminar group:
AM07wT2-B

first examiner:
Prof. Dr.-Ing. Rainer Zschockelt

second examiner:
Dipl.-Ing. Paul Florian Bruchhäuser

submission:
Mittweida, 31.08.2012

Bibliografische Angaben:

Hartmann, Hans:

Analyse der Arbeitsabläufe in einer Postproduktion bei der Erstellung eines computergenerierten Animationsfilms

Analysis of work processes in a post-production when creating a computer-generated animation film

2012 - 82 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2012

Abstract

Für die Erstellung eines computergenerierter Animationsfilms in einer Postproduktion müssen Problemstellungen kreativer, technischer und organisatorischer Natur bewältigt werden. In dieser Bachelorarbeit werden die einzelnen Phasen der Entstehung chronologisch nach einem Departement-Aufbau unter diesen Kriterien analysiert und auf Optimierungsmöglichkeiten untersucht. So werden neben der Definition der Arbeit einer Postproduktion, die Bedeutung einer Planungsphase, Qualitäts- und Performancesteigerungen im Bereich der Modellierung, Prinzipien einer guten Animation, Material- und Beleuchtungseigenschaften und die Flexibilität des Zusammenspiels von Rendering und Compositing erarbeitet. Die gewonnenen Erkenntnisse werden im gesamten Verlauf der Analyse an einem Beispielfilm belegt und bilden ein Workflow-Konzept für den reibungslosen Ablauf der Produktion.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	IX
1 Einleitung.....	1
2 Vorbemerkungen.....	3
2.1 Umgang mit dieser Arbeit.....	3
2.2 Der Beispielfilm „tic tac-TVC“	4
3 Arbeitsschritte der Postproduktion.....	6
4 Modellierung.....	11
4.1 Begriffsdefinitionen.....	11
4.2 Analyse des Modellierungsprozesses.....	13
4.3 Qualitäts- und Performancesteigerung.....	15
5 Layout.....	17
6 Animation.....	19
6.1 Grundlagen.....	19
6.2 Vorbereitungen und Erstellung des Rigs.....	20
6.3 Optik und Haptik der Animation.....	22
6.4 Keyframing.....	24
6.5 Gesichtsanimation.....	26
7 Shading.....	28
7.1 Interaktion von Licht und Materie.....	28
7.2 Reflexionsarten.....	29
7.3 Raytracing.....	31
7.4 Transparenz und Refraktion.....	34
7.5 Subsurface Scattering.....	34

8	Lighting.....	36
8.1	Visuelle Intentionen der Lichtgestaltung.....	36
8.2	Arten von Lichtquellen.....	37
8.3	Local und Global Illumination im Vergleich.....	39
8.4	Analyse des Beleuchtungsaufbaus.....	40
8.5	Ambient Occlusion.....	44
9	Rendering und Compositing.....	47
9.1	Definition.....	47
9.2	Compositing.....	47
9.3	Farbtiefe und Dateiformat.....	48
9.4	Anti-Aliasing und Auflösung.....	50
9.5	Render-Layer und Render-Passes.....	53
9.6	Relevanz des Layer-Pass-Systems.....	56
10	Fazit.....	60
	Literaturverzeichnis.....	XI
	Glossar.....	XIII
	Eigenständigkeitserklärung.....	XIX

Abkürzungsverzeichnis

AO

...Ambient Occlusion

AU

...Action Units

CG

...Computergrafik

CGI

...Computer-Generated Imagery

CI

...Corporate Identity

f

...Frame

FACS

...Facial Action Coding System

fps

...Frames per second

GI

...Global Illumination

HDRI

...High Dynamic Range Image

IOR

...Index Of Refraction

JPEG

...Joint Photographic Experts Group

LI

...Local Illumination

NTSC

...National Television System Committee

PAL

...Phase Alternating Line

TVC

...TV Commercial

SB

...Storyboard

Seq.

...Sequenz

SD

...Subdividing

SSS

...Subsurface Scattering

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Aufteilung der Sequenzen, Shots und Frames.....	4
Abbildung 2: Charakter-Entwürfe und Farbstudien des Art-Departements.....	8
Abbildung 3: Konzeptskizzen der Umgebungselemente.....	8
Abbildung 4: Departement-Aufbau der Produktions-Pipeline.....	9
Abbildung 5: Vertex, Edge und Face eines 3D-Modells.....	12
Abbildung 6: Charakter-Modelle mit unterschiedlichen Proportionen im Vergleich.....	15
Abbildung 7: Totales und nahes Framing.....	17
Abbildung 8: Animationsprinzip - Squash und Stretch.....	22
Abbildung 9: Animationsprinzip - Staging.....	23
Abbildung 10: Animationsprinzip - Secondary Action.....	24
Abbildung 11: Keyframing der Fallbewegung eines tic tac-Charakters.....	25
Abbildung 12: Skizzenhafte Darstellung der Hauptgesichtsausdrücke.....	27
Abbildung 13: Diffuse und Specular Relection.....	29
Abbildung 14: Gegenüberstellung unterschiedliche Shader des tic tac-Spots.....	31
Abbildung 15: Simplifizierte Strahlenverfolgung nach dem Raytracing-Algorithmus.....	33
Abbildung 16: Isoliertes Subsurface Scattering der tic tac-Charaktere.....	35
Abbildung 17: Color Bleeding auf der Charakteroberfläche.....	40
Abbildung 18: Aufbau und Wirkung der Dreipunkt-Beleuchtung der tic tac-Szene.....	41
Abbildung 19: Unscharfe Reflexionen durch Weichzeichnen der Reflection Map.....	44
Abbildung 20: Isolierte Darstellung und Sampling von Ambient Occlusion.....	45
Abbildung 21: Bildabtastung mit einem Sample-Punkt je Pixel	50
Abbildung 22: Bildabtastung mit vier Sample-Punkten je Pixel	51

Abbildung 23: Render-Layer des tic tac-Spots.....	53
Abbildung 24: Alphakanal des Charakter-Layers.....	54

1 Einleitung

Seit den frühen experimentellen Anfängen Mitte der 70er Jahre ist die computergenerierte Animation heute zu einem zentralen künstlerischen Mittel der Film-, Fernseh- und Werbeindustrie herangewachsen.¹ So hat sich die Entwicklung von Computer-Generated Imagery (CGI)² heute als attraktive Branche für viele Informatiker, Artists³, Designer und Produzenten heraus kristallisiert. Der Reiz besteht auch auf Seite des Publikums, da dem Zuschauer durch die Computergrafik (CG) Bilder präsentiert werden können, die durch herkömmliche Filmmethoden nicht realisierbar sind. Der Zuschauer sieht auf dem Bildschirm das Endresultat, bekommt aber keinen Einblick in die Strukturierung der Arbeitsabläufe, die hinter dem fertigen Produkt stehen. Der Inhalt dieser Arbeit widmet sich dieser Problematik. Die einzelnen Phasen der Produktion eines computergenerierten Animationsfilms werden anhand eines Beispielfilms aus dem Bereich der Werbung beleuchtet und unter kreativen, technischen und organisatorischen Aspekten erforscht. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Optimierungsmöglichkeiten der Produktion gerichtet. Faktoren werden analysiert, die den Workflow beeinträchtigen und alternative Herangehensweisen erarbeitet. Die Gliederung richtet sich dabei chronologisch nach dem Ablauf der Herstellungsabschnitte. Zu Beginn wird der Referenzfilm und die Arbeit einer Postproduktion definiert und in den gesamten Produktionsablauf eingeordnet. Weiterhin ergründe ich die Funktion der Planungsphase und die Bedeutsamkeit der Vorarbeit auf dem Papier. Im Folgenden hat diese Arbeit das Gebiet der Modellierung zum Inhalt. Es werden fachspezifische Begriffe definiert, der Modellierungsprozess anhand des Beispielfilms untersucht und Erkenntnisse über die Steigerung von Qualität und Performance gewonnen. In Anlehnung an die Modellierung widme ich mich der Erstellung von Layouts und der Aufbereitung für die Animation. Neben der technischen Erstellung eines Rigs werden Prinzipien und Animationsgrundlagen erörtert, die von essentieller Bedeutung für eine gute Animation sind. Dieses geschieht im Zusammenhang mit der technischen Umsetzung, wobei besonderes Augenmerk auf der Vermittlung von Emotionen und somit der Gesichtsanimation liegt. Darüber hinaus enthält die Arbeit Erkenntnisse über die Ausleuchtung dreidimensionaler Szenen. Dabei werden zunächst die potentiellen Arten von Lichtquellen in Bezug zu

1 vgl. Parent, 2002: 7

2 dt.: Computergenerierte Bilder; Bed.: Durch 3D-Computergrafik erzeugte Bilder

3 dt.: Künstler, Gestalter, Grafiker; Bed.: Kreative Arbeitskraft in einer Postproduktion

ihrer Wirkung gesetzt und in den Beleuchtungsaufbau des Beispielfilms eingeordnet. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse erfolgt ein Vergleich lokaler und globaler Beleuchtungsmodelle. Dies wird durch weiterführende Methoden zur Verbesserung des Gesamteindrucks ergänzt. Im folgenden Verlauf des Argumentationsaufbaus spielt das Licht eine weitere entscheidende Rolle. So wird die Interaktion von Licht und Materie betrachtet und durch die Analyse von Reflexionsarten auf Umsetzungsmöglichkeiten in einem CG-Film untersucht. Dazu wird der Begriff des Shadings erläutert und Oberflächenmaterialien des Beispielfilms unter gestalterischen Aspekten untersucht. Nachfolgend betrachte ich das Prinzip der Bildsynthese im Compositing und die daraus resultierenden Kriterien an den Render-Vorgang. Der Aufbau der Render-Struktur agiert dabei als entscheidender Faktor für den Arbeitsfluss. In einer Zusammenfassung werden die einzelnen Arbeitsabläufe resümiert und gewonnene Erkenntnisse in Zusammenhang mit Abstimmungsphasen mit Kunden und Regisseur, Zeit- und Kosten-Effizienz sowie Rechenaufwand gestellt. Alle Phasen werden als Teil des Ganzen betrachtet. Somit kann ein Konzept für den reibungslosen Ablauf einer komplexen Produktion erstellt werden.

Bei der Erläuterung des Arbeitsaufbaus wird deutlich, dass die einzelnen Produktionsphasen aufeinander aufbauen. Es ist demnach von essentieller Bedeutung, die Arbeit komplett zu lesen, um sich ein fundiertes Urteil bilden zu können. Bei den Erläuterungen beschränke ich mich bewusst auf die wesentlichen Prinzipien der CG und der Bildsynthese. Weniger ist in diesem Fall mehr, da eine zu spezifische Ausführung der einzelnen Phasen von der Untersuchung des Workflows divergieren würde. Weiterführende Informationen sind an gegebenen Stellen durch externe Literaturnachweise gekennzeichnet.

2 Vorbemerkungen

2.1 Umgang mit dieser Arbeit

Die Struktur einer Postproduktion durch reine Theorie nachzuvollziehen, erweist sich als außerordentlich kompliziert. Aus diesem Grund wird ein Beispielfilm zu besseren Veranschaulichung in die Untersuchung einbezogen. Da ich mich in dieser Arbeit zu einem großen Prozentsatz mit der Bildanalyse beschäftige, werden Grafiken und Bildausschnitte direkt in den Fließtext integriert. Dieses erlaubt ein besseres Verständnis der Theorien, um dem Argumentationsaufbau folgen zu können ohne den Lesefluss zu beeinträchtigen. Weiterhin können gewonnene Erkenntnisse direkt am Bild belegt werden.

Obwohl sich die Untersuchungen auf ein einziges Filmprojekt stützen, vermeide ich bewusst die Nennung von Soft- und Hardwarekomponenten. Das hat den Vorteil, dass die Ergebnisse nicht einmalig auf den spezifischen Produktionsablauf anwendbar sind, sondern exemplarisch für den Workflow verschiedenartiger Produktionen stehen. Dadurch ist eine hohe Übertragbarkeit gegeben.

Die CG ist ein Produkt neuzeitlicher Entwicklung. Dies spiegelt sich auch im Sprachgebrauch wieder. Durch die starke Globalisierung des Gewerbes hat sich heute eine branchenspezifische Sprache entwickelt. So sind Fachbegriffe als Anglizismen auch im deutschen Sprachgebrauch geläufig. In dieser Arbeit verzichte ich daher auf das zwanghafte Eindeutschen der international gültigen Fachtermini. Vielmehr wird jeder signifikante Ausdruck an entsprechender Stelle durch eine Fußnote erläutert und zusätzlich alphabetisch im Glossar aufgelistet. Auch die verwendete Literatur und Quellenachweise werden in Originalsprache behandelt. So sind direkte Zitate hauptsächlich in englischer Sprache im Text integriert. Diese werden zum besseren Verständnis in der Fußnote frei übersetzt.

2.2 Der Beispielfilm „tic tac-TVC“

Der verwendete Referenzfilm ist ein TV Commercial (TVC)⁴, der für den italienischen Süßwarenhersteller FERRERO produziert wird. Die Unternehmensgruppe besteht aus 36 Gesellschaften und betreibt weltweit 15 Produktionsstätten.⁵ Die Produktionsstätte FERRERO DEUTSCHLAND hat ihren Sitz in Frankfurt am Main. Beworben wird das Produkt tic tac. Der Film ist Teil einer Produktionsreihe und somit Teil der gesamten FERRERO tic tac-Kampagne. Für die Konzeptentwicklung ist die HEIMAT WERBEAGENTUR GMBH⁶ verantwortlich, während die technische und gestalterische Umsetzung durch die LAFOURMI POSTPRODUCTION GMBH⁷ erfolgt. Unter der URL <http://vimeo.com/31847915>⁸ kann der tic tac-TVC unter der Titelbezeichnung **Ferrero Tic Tac "Aussehen"** eingesehen werden.

Ein Werbespot ist in Sequenzen (Seq.) unterteilt, welche wiederum in separate Shots⁹ zerlegt werden können. Ein Shot gilt dabei als die Bezeichnung des Filmabschnitts zwischen zwei Schnitten und somit als individuelle Kameraeinstellung. Die Shots bestehen aus einer Vielzahl an Einzelbildern, welche Frames (f)¹⁰ genannt werden.¹¹ Durch diesen Aufbau ergibt sich für den tic tac-Spot folgende Bildhierarchie:

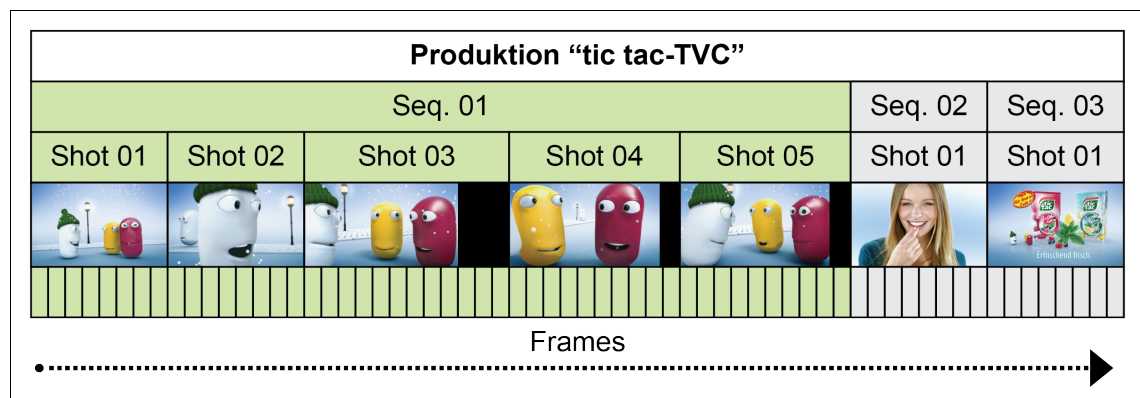


Abbildung 1: Schematische Aufteilung der Sequenzen, Shots und Frames

4 dt.: Fernsehwerbefilm; Bed.: Im Fernsehen ausgestrahlter Werbefilm

5 vgl. Holzbauer, 2012: Topic0

6 Heimat Werbeagentur GmbH, Segitzdamm 2, 10969 Berlin (Deutschland), info@heimat-berlin.com, Geschäftsführer: Matthias von Bechtolsheim, Guido Heffels, Andreas Mengele

7 Lafourmi Postproduction GmbH, Schulterblatt 58 / Haus C, 20357 Hamburg (Deutschland), contact@lafourmi.de, Geschäftsführer: Florian Bruchhäuser, Sascha Schmidt

8 Stand: 26.07.2012

9 dt.: Einstellung; Bed.: Durchgängige Folge von Einzelbildern ohne Unterbrechung durch Schnitte

10 dt.: Einzelbild; Bed.: Einzelnes Bild einer Bildsequenz

11 vgl. Schmidt, 1996: 92

Der schematische Aufbau des tic tac-TVC ist in Abb. 1 dargestellt. So ist eine Aufteilung des Spots in drei Sequenzen zu erkennen. Sequenz 01 ist in fünf Shots (Shot 01 - Shot 05) untergliedert und stellt die Haupthandlung des Films dar. Diese Shots sind durch verschiedene Einstellungsgrößen charakterisiert (s. 5 Layout). Die handelnden Protagonisten sind drei animierte tic tac-Charaktere. Durch die Hintergrundelemente „Fußweg“ und „Lampe“ wird das Geschehen in eine Straßenumgebung eingeordnet. Rieselnder Schnee und die Mütze beschreiben eine winterliche Situation. Weitere Figuren im Hintergrund erzeugen Nebenhandlungen, die die Atmosphäre des Spots steigern ohne von den Hauptfiguren abzulenken. Sequenz 02 besteht aus einem Shot, welcher als Genussszene umschrieben werden kann. Eine Frau, die eine tic tac-Pastille verzehrt, wird als Realfilm-Element vor einem blau-weißen Hintergrund arrangiert. Die Schlussequenz bildet Sequenz 03, welche ebenfalls aus einem Shot besteht und als Pack-Shot¹² definiert ist. In diesem Shot werden die Packungen präsentiert und durch Titel und Logo als Bildüberlagerungen beworben.

Für die Analyse der Arbeitsabläufe beschränke ich mich im Folgenden auf den computergenerierten Animationsteil von Sequenz 01, da dieser Teil für die Arbeit der Postproduktion die höchste Relevanz besitzt. Im Verlauf der Produktion werden drei Hauptcharaktere modelliert und animiert sowie statische Umgebungselemente erstellt. Die Animation soll dabei ein Gefühl von Unbeschwertheit durch humoristische Bewegungen erzeugen. Weiterhin müssen die Elemente in einem stimmigen Gesamtbild arrangiert werden und durch präzise gewählte Beleuchtungs- und Schattierungseinstellungen die Frische des Produkts unterstreichen.

12 dt.: Packungseinstellung; Bed.: Darstellung/Abbildung des beworbenen Produktes in einem Shot

3 Arbeitsschritte der Postproduktion

Um den Ablauf der Produktion eines computergenerierten Animationsfilms analysieren zu können ist es notwendig, die Arbeitsschritte der Postproduktion in den gesamten Produktionsablauf einzuordnen.

Zu Beginn einer jeden Produktion steht die Idee des Films. Diese wird durch die Agentur und den Regisseur beschrieben und dem Kunden präsentiert. Die Ideenfindung erfolgt in der Regel demnach als kreativer Prozess zwischen mehreren Instanzen. Nach erfolgreicher Abnahme werden die Geschichte und der dramaturgische Verlauf des Spots festgelegt. Die Entwicklung einer ansprechenden und fesselnden Story ist von entscheidender Bedeutung, da sie die Grundlage des Films darstellt und über die Güte eines Spots entscheidet. Eine schlechte Story kann durch keinen der folgenden Arbeitsschritte aufgewertet werden. Bereits im Vorfeld werden die verschiedenen Abschnitte des Spots in separate Sequenzen und Shots untergliedert, um den weiteren Arbeitsprozess in kleinere Teile aufbauen zu können. Dazu werden durch Artists Storyboards (SB)¹³ angefertigt. PARENT (2002: 15) beschreibt den Vorgang als Transformation von: „[...] *the verbal into the visual*.“¹⁴ Diese Storyboards sind Konzeptzeichnungen, die den groben Ablauf des Films beschreiben und bereits grundlegende Kameraeinstellungen und das Arrangement der handelnden Figuren festlegen. Die Zeichnung eines Frames ist dabei repräsentativ für den gesamten Shot. Die Frames werden von Text begleitet, der die Handlung beschreibt.¹⁵ Anhand dieser Skizzen durchläuft das Konzept mehrere Instanzen und wird bis zu seiner Vollkommenheit auf dem Papier modifiziert. Die Arbeit auf dem Papier hat sich über die Jahre als effektiv herauskristallisiert, da Änderungen schnell und effizient umgesetzt werden können.

Bereits bei der Entwicklung des Storyboards kann man bewegte Vorschauversionen des Spots erstellen. Da es sich um eine Digitalisierung des Storyboards handelt, werden diese Photomatics¹⁶ genannt. Die einzelnen Skizzen des Spots werden aneinander geschnitten, um einen Überblick über Wirkung und Timing zu erhalten. Sollten einzelne Bilder nicht genügend Aussage über eine Szene liefern, werden die Bilder bereits in

13 dt.: Ablaufplan, Szenenbuch; Bed.: Skizzenhafte Darstellung des Films zur Planung des Ablaufs

14 Parent, 2002: 15; dt.: „[...] das Sprachliche in das Bildliche.“

15 vgl. Parent, 2002: 12

16 dt.: Foto-Animation; Bed.: Zweidimensionale digitale Bildfolge von Fotografien (z.B. Storyboard)

diesem Schritt rudimentär animiert, um die Wirkung der Szene zu verdeutlichen.¹⁷ Da es sich um einen kreativen Entwicklungsprozess handelt, erstellt man diese Photomatics in verschiedenen Versionen, um in Zusammenarbeit mit dem Regisseur die optimale Erzählweise des Spots zu entwickeln. An diesem Punkt wird klar, welche Sequenzen dienlich für die Story sind, welche Passagen verstärkt werden müssen oder welche ohne Belang sind und gestrichen werden können.¹⁸ Auch minimale Timing-Veränderungen kann man jetzt berichtigen. Wenn die Entscheidungen zu einem späteren Zeitpunkt der Produktion oder erst bei einem vollanimierten Film getroffen werden, entstehen unnötiger Arbeitsaufwand und Kosten. Diese Vorarbeit steigert daher die Kosteneffizienz. Die abgenommene Version des Photomatics kann hier bereits einem Test-Publikum vorgelegt werden, um Kritiken und Emotionen Dritter aufzugreifen.

Sobald eine finale Version des Photomatics vorliegt und somit die Story, Intention und der Ablauf des Spots gegeben sind, beginnt die Arbeit der Postproduktion in Form von der Findung eines Looks. Zu diesem Zweck werden durch das Art-Departement anhand des Storyboards Designs und Farbstudien für den Film erstellt, welche detaillierte Entwürfe der Modelle und Lichtstimmungen enthalten. Durch digitale Konzeptzeichnungen wird demnach im Vorfeld der Look des Films festgelegt.¹⁹

17 vgl. Birn, 2006: 378

18 vgl. Rossano, 2004: 7

19 vgl. Birn, 2006: 385

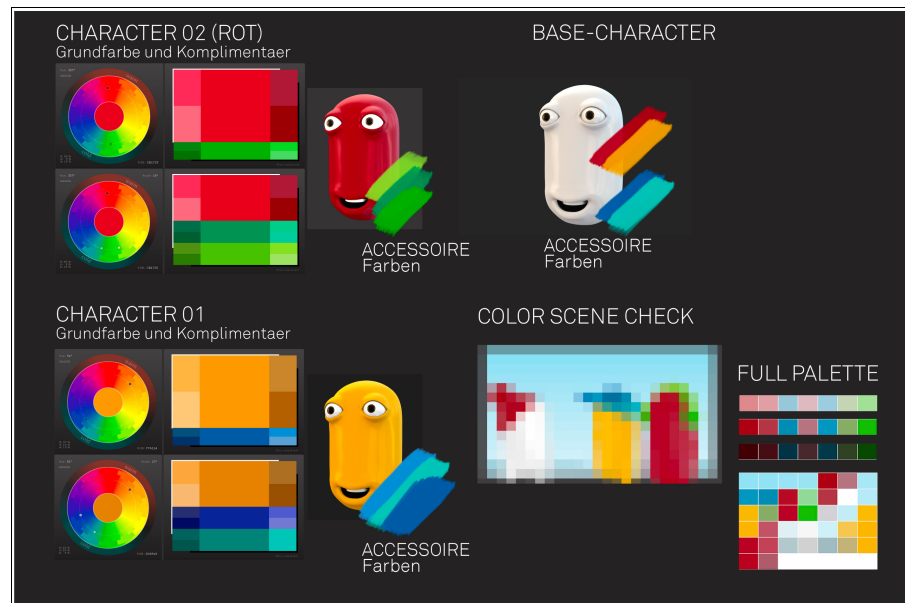


Abbildung 2: Charakter-Entwürfe und Farbstudien des Art-Departements

Abb. 2 zeigt die Ergebnisse der Arbeit des Art-Departements bei der Erstellung erster Entwürfe der Charaktere. Neben einem Layout der Form werden die Farbspektren festgelegt, die der Corporate Identity (CI)²⁰ des Produkts tic tac entsprechen.

Außerdem werden Designs für umgebende Elemente erstellt, die die tic tac-Welt bilden. Da die gesamte Umgebung lediglich spartanisch skizziert werden soll, werden charakteristische Elemente der Realität an die ovale Form der Charaktere angepasst.



Abbildung 3: Konzeptskizzen der Umgebungselemente

Zwei Konzeptzeichnungen der Designentwicklung der Umgebungselemente sind in Abb. 3 dargestellt. So werden unter anderem eine Lampe und ein Mülleimer in ovaler Form konzipiert, um charakteristische Attribute der tic tac-Pastillen aufzugreifen und

²⁰ dt.: Unternehmensidentität, Firmenimage; Bed.: Visuelle Richtlinien eines Unternehmens, Gesamtheit der charakteristischen und von anderen Unternehmen unterscheidenden Merkmale

eine humoristische Atmosphäre zu schaffen. Die Entwicklung des Storyboards, visualisierter Photomatics und die Entwürfe des Art-Departements können zusammenfassend als Basis der weiteren Produktionsschritte definiert werden.

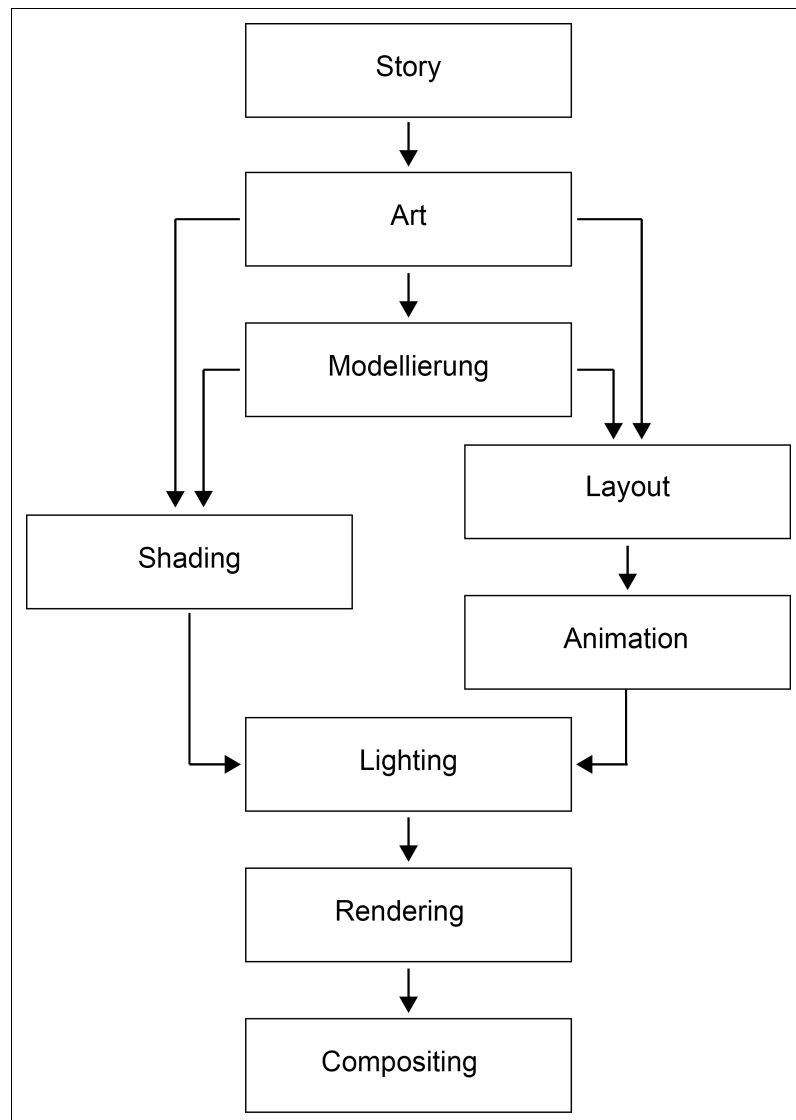


Abbildung 4: Departement-Aufbau der Produktions-Pipeline

Um die Fülle an anfallenden Aufgaben in einem anspruchsvollen Zeitplan zu bewältigen, muss die Arbeit in einer Postproduktion auf eine Vielzahl von Artists aufgeteilt und koordiniert werden. „Several steps are required to successfully plan and carry out the production of a piece of animation.“²¹ Aus diesem Grund ist die Einführung einer Pro-

²¹ Parent, 2002: 12; dt.: „Mehrere Schritte sind für die erfolgreiche Planung und Durchführung einer Animation erforderlich.“

duktions-Pipeline, bei der Artists verschiedener Departements zur Erstellung des gesamten Films beitragen, essentiell notwendig.²²

Abb. 4 zeigt den gestaffelten Departement-Aufbau einer Produktions-Pipeline frei nach PARENT (2002, 16). Auf Grundlage des Storyboards und der Konzepte des Art-Departements werden alle Objekte des Films, wie Charaktere und Umgebungselemente durch das Modellierungs-Departement erstellt (s. 4 Modellierung). Die entstandenen Modelle sind Voraussetzung für die Entwicklung erster dreidimensionaler Vorschauversionen durch das Layout-Departement (s. 5 Layout). Diese Layouts dienen als Richtlinie für die Animation des Films und werden durch die präzise Darstellung von Gestiken und Feinheiten der Bewegung durch das Animations-Departement vervollkommen (s. 6 Animation). Parallel zum Produktionspfad der Animation kann durch das Shading-Departement das visuelle Erscheinungsbild der Modelle durch die Definition von Materialeigenschaften festgelegt werden (s. 7 Shading). Sowohl die Arbeit des Animations- als auch des Shading-Departements dienen im weiteren Verlauf der Produktion als Basis für die Beleuchtung der Szene, welche durch das Lighting-Departement erstellt wird (s. 8 Lighting). Abschließend wird die Szene in Form von zweidimensionalen Bildern gerendert und durch das Zusammensetzen einzelner Elemente durch das Compositing-Departement veredelt und finalisiert (s. 9 Rendering und Compositing). Vereinfacht lässt sich dieser Aufbau nach Bilddimensionen in zwei wesentliche Bereiche einteilen. So kann die Arbeit im dreidimensionalen Raum (Modellierung, Layout, Animation, Shading, Lighting) als 3D-Departement und die Finalisierung des zweidimensionalen Bildes als Compositing-Departement abstrahiert werden.²³ Durch die Komplexität der Arbeitsschritte bei der Erstellung eines computergenerierten Animationsfilms bedarf es jedoch eines hierarchischen Aufbaus innerhalb des 3D-Departements.

Der gesamte Ablauf der Produktion ist stets als Trial-and-Error-Prozess²⁴ zu betrachten. So muss durch Feedback nachfolgender Produktionsschritte in unterliegenden Departements bei auftretenden Fehlern nachgearbeitet werden. Dieses führt zu mehreren Iterationen innerhalb der Produktions-Pipeline.²⁵ Im weiteren Verlauf der Arbeit werden im Detail die Aufgaben der einzelnen Departements und deren Zusammenspiel beginnend mit der Modellierung analysiert.

²² vgl. Birn, 2006: 379

²³ vgl. Brinkmann, 2008: 2

²⁴ dt.: Versuch und Irrtum; Bed.: Problemlösungsmethode, Probieren von Lösungsmöglichkeiten bis die gewünschte Lösung gefunden ist

²⁵ vgl. Parent, 2002: 12

4 Modellierung

4.1 Begriffsdefinitionen

Sobald die Designs des Art-Departements vom Regisseur und Kunden abgenommen wurden, kann mit der eigentlichen Modellierung der Elemente begonnen werden. Die Modellierung beschreibt die Entwicklung einer dreidimensionalen Oberfläche eines Objektes und wird durch das Modellierungs-Departement realisiert. Entstehende Objekte, welche 3D-Modell genannt werden, sind zum einen die Figuren der Szene und deren Proportionen aber auch umgebende Elemente wie Gebäude, Pflanzen und weitere. „*The Modeling Department creates the characters and the world in which they live.*“²⁶

Jedes 3D-Modell ist durch Punkte im dreidimensionalen Raum definiert. Zur Angabe von Punkten in einem zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystem kann jeder Koordinatenpunkt durch die Zuordnung eines x- und y-Wertes auf der jeweiligen Achse (x- und y-Achse) eindeutig definiert werden. In einem dreidimensionalen Koordinatensystem erfolgt diese Angabe analog unter Berücksichtigung einer dritten Achse (z-Achse), die sich in die Tiefe des Raumes erstreckt.

Ein solcher Punkt im dreidimensionalen Raum wird Vertex²⁷ genannt. Vertices allein reichen für die Beschreibung eines 3D-Modells jedoch nicht aus, da sie keine Größe besitzen, und somit keine Oberfläche generieren. Ein Vertex enthält demnach Positionsinformationen jedoch keine Angaben über Länge, Breite oder Höhe. Die Verbindung zweier Vertices bildet eine Linie, welche als Edge²⁸ bezeichnet wird. Ab einer Anzahl von drei Vertices kann eine Fläche bestimmt und durch zugehörige Edges eingegrenzt werden. Diese sichtbare Fläche heißt Face²⁹. Der Zusammenschluss eines Faces und der zugehörigen Edges und Vertices wird Polygon³⁰ genannt. Die Bezeichnung resultiert aus der Tatsache, dass diese Flächen Vielecke sind, die je nach Vertex-

26 Parent, 2002: 15; dt.: „Das Modellierungs-Departement erstellt die Charaktere und die Welt, in der sie sich befinden.“

27 dt.: Knoten, Eckpunkt; Bed.: Geometrischer Begriff, Punkt im dreidimensionalen Raum

28 dt.: Linie, Kante; Bed.: Geometrischer Begriff, Verbindung zweier Vertices

29 dt.: Gesicht, Fassade; Bed.: Geometrischer Begriff, durch mindestens drei Edges eingegrenzte Fläche

30 dt.: Vieleck; Bed.: Geometrischer Begriff, Vereinigung von Face, Edges und Vertices

Anzahl in der Anzahl ihrer Ecken variieren. Polygone werden demnach auch als n-gon beschrieben.

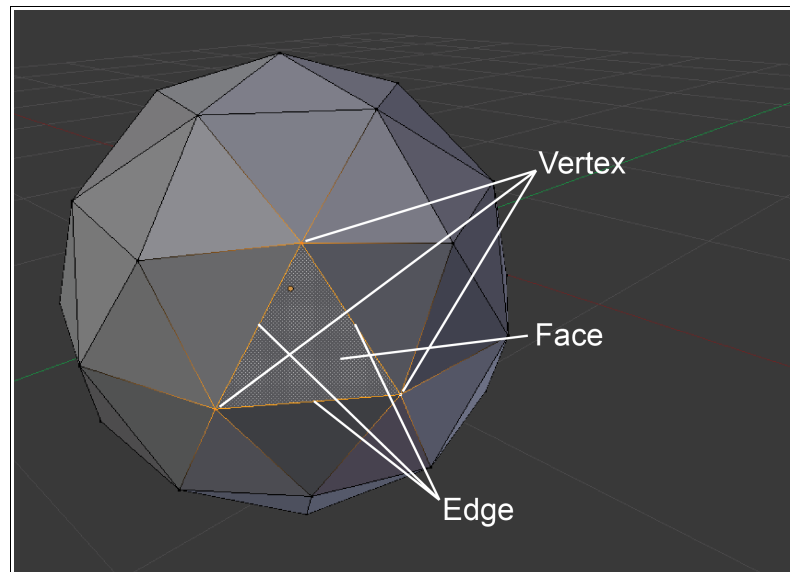


Abbildung 5: Vertex, Edge und Face eines 3D-Modells

Jedes Polygon besitzt ein Front- und ein Back-Face³¹. Die Lotlinie durch den Mittelpunkt des Front-Faces (Mittelsenkrechte) wird Normale genannt. Die Definition der Normalen ist im weiteren Verlauf der Produktion von großer Bedeutung, da sie die Basis für weitere Berechnungen des Modells bildet, wie beispielsweise die Interaktion des virtuellen Lichtes mit den Polygonen des Meshs³² (s. 7 Shading).

Die Fusion von multiplen durch Vertices beschriebenen Polygonen bildet das Mesh. Dabei teilen sich mehrere Polygone gemeinsame Vertices und Edges an den Punkten, an denen sie aufeinander treffen. Dieses Mesh ist die Oberfläche des 3D-Modells und beschreibt seine Ausmaße, nicht das tatsächliche Volumen.³³ Resultierend aus der Tatsache, dass es sich um eine Hülle handelt, spricht man von Schalenmodellen. Je nach Einsatzgebiet kann das Mesh eines Körpers teilweise offen oder komplett geschlossen sein. RITCHIE et al. (2005: 89) vereinfachen die Definition wie folgt: „*A polygonal mesh is, at it's most basic, a large array of vectors. In non-programmer terms, this means it is a list of points, or a series of vertices in 3d space.*“³⁴

31 dt.: Vorder- u. Rückseite; Bed.: Der Kamera zu- und abgewandte Seite eines Polygons

32 dt.: Polygonnetz; Bed.: Zusammenschluss der Polygone einer Oberfläche

33 vgl. Ritchie et al., 2005: 84

34 Ritchie et al., 2005: 89; dt.: „Ein Polygonnetz ist in seiner Grundform eine große Ansammlung von Vektoren. Verständlicher beschrieben, handelt es sich um eine Liste von Punkten oder eine Reihe von Knoten im dreidimensionalen Raum.“

Da es sich laut RITCHIE et al. um eine Ansammlung von Daten handelt, können Meshs manuell am Computer, automatisch durch Anwendung von Algorithmen oder durch Scannen der Oberfläche real existierender Objekte erstellt werden. Bei aufwendigen Produktionen ist es verbreitet ein reales aus Knete entwickeltes Modell über 3D-Scanner zu digitalisieren. Diese Modelle werden anschließend für die Produktion aufbereitet, verfeinert und an nicht korrekt gescannten Bereichen korrigiert.

4.2 Analyse des Modellierungsprozesses

Zu Beginn jeder digitalen Erstellung von 3D-Objekten steht eine ausgiebige Recherche. Diese besteht zum Großteil aus der Bearbeitung der Entwürfe des Art Departments aber auch aus dem Sammeln von externen Referenzbildern, die als Orientierungspunkt für das entstehende Modell dienen.³⁵

Die Herangehensweise für die Erstellung des Objektes hängt von seinem Kontext in der Szene ab. Handelt es sich um ein Element, welches im Nachhinein animiert werden muss, sollte die Modellierung in der Rest Position³⁶ erfolgen. Handelt es sich hingegen um ein statisches Element, entfällt diese Vorüberlegung. Das Objekt kann in seiner endgültigen Position erstellt werden. Grundsätzlich ist es von Vorteil, die Ressourcen innerhalb des Modellierungs-Departements weiter nach diesem Kriterium zu unterteilen. Bei der Erstellung der Modelle des tic tac-Spots übernimmt daher ein Teil des Departements das Anfertigen der statischen Elemente wie „Fußweg“ und „Lampe“, während der andere Teil die drei tic tac-Charaktere in neutraler Pose modelliert, um eine Ausgangsposition für folgende Animationen zu schaffen.

Da sich im Laufe der Entwicklung der Computergrafik der Modellierungsprozess entscheidend vereinfacht hat, haben sich heute, auf den Grundsatz reduziert, zwei Methoden herauskristallisiert: Box Modeling³⁷ und Extrusion Modeling^{38, 39}.

Grundlage des Box Modelings sind geometrische Primitive, welche in jeder 3D Software verankert sind. Dies sind vorgefertigte Objekte, die durch Variablen und Modifikation ihrer Vertices und Edges verformt werden können. Sie bilden die Basis bei der Er-

35 vgl. Ward et al., 2011: 15

36 dt.: Ausgangsposition, Ruhestellung; Bed.: Neutrale Pose eines Modells ohne extreme Verformungen als Ausgangsform der Animation

37 dt.: Kasten-Modellierung; Bed.: Modellierungsverfahren auf Grundlage eines geometrischen Körpers (z.B. Würfel)

38 dt.: Extrusion-Modellierung; Bed.: Modellierungsverfahren auf Grundlage der Formung von Konturen

39 vgl. Chopine, 2011: 25

stellung neuer Gebilde, da so gut wie jedes Modell abstrahiert auf eine Ansammlung von geometrischen Formen, wie Würfeln, Zylindern, Pyramiden oder Kugeln zurückzuführen ist. Im weiteren Verlauf des Box Modelings werden dieser einfachen geometrischen Form Polygone hinzugefügt, wodurch ein komplexes Gebilde resultiert. In jedem Bearbeitungsschritt wird das entstandene Modell verfeinert. Der Vorgang des Box Modelings entstammt dem Bereich der plastischen Kunst und kann als „digitale Bildhauerei“ umschrieben werden.

Extrusion Modeling basiert im Gegensatz zum Box Modeling nicht auf dem Fundament eines geometrischen Körpers sondern auf Edges oder einzelnen Polygonen. Durch diese werden zunächst die Umrisse des zu modellierenden Objektes geformt.⁴⁰ Durch das Hinzufügen von Polygonen erhält der Körper seine endgültige Form. Dieser Prozess kann mit dem Zeichnen verglichen werden, da er auf Konturen basiert.

Da die Form des tic tac-Charakters abstrahiert der einer Ellipse gleicht, erschließt sich der Ansatz des Box Modelings für die Umsetzung. Dabei wird eine Kugel als Basiskörper gewählt. Diese wird auf der horizontalen Mittelachse geteilt und auf der y-Achse verschoben. Der Raum zwischen den beiden Kugelhälften wird schrittweise durch das Hinzufügen von Polygonen in der Form eines Zylinders geschlossen. Das Resultat ist ein kapselförmiges Objekt, welches den Körper des Charakters bildet. Durch Verformung des Meshs werden im Folgenden die Augen- und Mundpartien modelliert. Dabei wird sich der symmetrische Aufbau des tic tac-Gesichtes in Form von Mirroring⁴¹ zu Nutzen gemacht. Anstatt zwei identische Seiten des Modells zu formen, wird lediglich eine Hälfte berücksichtigt und anschließend an der vertikalen Mittelachse gespiegelt, wodurch ein vollständig symmetrisches Objekt unter immenser Zeitersparnis entsteht.

Der Vorgang der Gesichtsformung ist von essentieller Bedeutung für das Erscheinungsbild des Charakters und als kreativer Prozess zu verstehen. Im Gegensatz zu ursprünglichen Herangehensweisen, bei denen durch Zeichnungen und Skizzen bereits im Vorfeld verschiedene Gesichtsproportionen miteinander verglichen werden, vollzieht sich der Hauptteil der Ideenfindung direkt in der Modellierungs-Software. Dieses wird durch Soft Selection⁴² ermöglicht. Dabei zieht die Verschiebung einzelner Vertices eine automatische Modifikation der umliegenden Polygone nach sich.⁴³ Das Mesh reagiert demnach auf Veränderungen. Dies hat den Vorteil, dass Teile des Gesichtes skaliert

40 vgl. Chopine, 2011: 25

41 dt.: Spiegelung; Bed.: Modellierungstechnik für das symmetrische Duplizieren einer Mesh-Hälfte

42 dt.: Weiche Auswahl; Bed.: Modellierungstechnik zur automatischen Mesh-Gewichtung, organische Modellierung von Geometrien ohne einzelne Vertices manuell modifizieren zu müssen

43 vgl. Ward et al., 2011: 306

und verschoben werden können, ohne umliegende Polyongruppen einzeln manuell anwählen und anpassen zu müssen. So können direkt in der Software ohne großen Aufwand verschiedene Versionen des Charakters erstellt und dem Regisseur präsentiert werden. Geläufige Präsentationsformen sind der Turntable-Test, bei dem das Modell 360° vor einer statischen Kamera rotiert, um einen vollständigen Überblick zu erhalten oder der Vergleich mehrerer Modellversionen anhand von Standbildern.

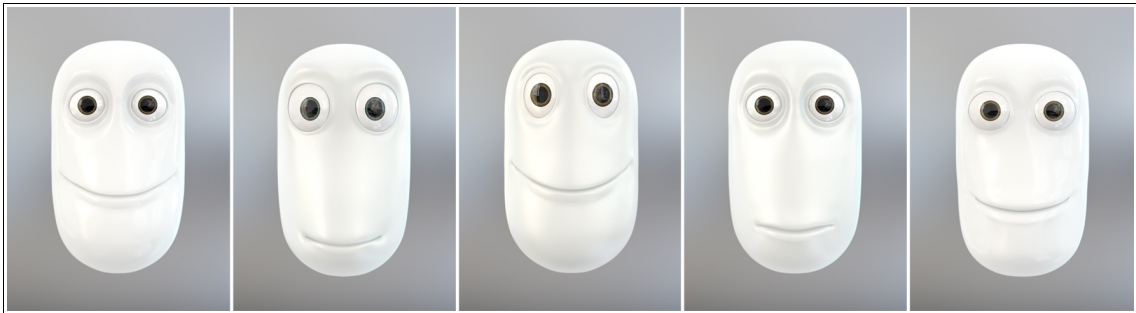


Abbildung 6: Charakter-Modelle mit unterschiedlichen Proportionen im Vergleich

In Abb. 6 werden fünf mögliche Charaktere mit unterschiedlichen Proportionen in neutraler Rest Position gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass die Positionierung der Augen und des Mundes sowie die Form des Körpers entscheidenden Einfluss auf das Erscheinungsbild des Charakters haben.

Erst nachdem die Geometrie des Modells vollständig abgenommen wurde, kann mit weiteren Schritten, wie dem Erstellen der Oberflächenstruktur (s. 7 Shading) und der Vorbereitung der Animation durch das Erstellen eines Rigs (s. 6.2 Vorbereitungen und Erstellung des Rigs) begonnen werden. Nicht selten offenbaren sich jedoch erst im weiteren Produktionsverlauf Fehler an der Oberfläche des Meshs. In diesem Fall muss das Modell nachbearbeitet werden.

4.3 Qualitäts- und Performancesteigerung

Die Qualität eines Modells ist abhängig von der Anzahl der verwendeten Vertices und Polygone. Um ein bestehendes Mesh zu verfeinern, ist es daher notwendig die einzelnen Polygone stärker zu unterteilen. Dieses kann durch Subdividing (SD)⁴⁴ erreicht werden. Der Grad der Subdivision wird in einem 3D-Programm in Iterationsschritten angegeben. Ein viereckiges Polygon beispielsweise wird auf der ersten Stufe der Sub-

⁴⁴ dt.: Untergliederung; Bed.: Modellierungs- und Render-Verfahren als Verfeinerungsschema polygonaler Oberflächen durch präzisere Unterteilung in Stufen

division durch Addition zweier Edges durch den Mittelpunkt in vier neue Polygone geteilt.⁴⁵ Auf der nächsten Stufe wird jedes dieser entstandenen Polygone für den Teilungsprozess berücksichtigt. Mit jedem Schritt werden demnach die Polygone des Meshs geteilt und vergrößern somit die Gesamtanzahl exponentiell.⁴⁶ Gerade die kurvigen Formen des tic tac-Charakters verlieren somit an Kanten und erhalten ein weiches Erscheinungsbild. Es ist jedoch zu beachten, dass mit zunehmender Polygon-Anzahl auch die Anforderungen an das bearbeitende System potentiell steigen, da eine komplexere Struktur berechnet werden muss. Die Verfeinerung des Meshs erfolgt daher stets unter Berücksichtigung des Einsatzgebietes und der Hardwarebeschränkungen. Einige Modelle müssen in ihrem Einsatzgebiet in Echtzeit berechnet werden, da sie beispielsweise für Spiele oder Simulationen benötigt werden.⁴⁷ Ist dies der Fall, sollte bereits bei der Planung die Anzahl der Polygone des Meshs berücksichtigt werden. Ein Modell, welches aus diesem Grund auf einen hohen Detailgrad und auf eine hohe Stufe der Subdivision verzichtet, wird Low Poly Model⁴⁸ genannt.⁴⁹ Da der tic tac-Animationsfilm nicht in Echtzeit berechnet werden muss, sondern der Rechenprozess einmalig für die Ausgabe einer Bilddatei erfolgt, kann der Qualitätsparameter jedoch vor den der Leistung gestellt werden. Durch die daraus resultierende hohe Anzahl von Polygonen des Meshs werden diese Modelle High Poly Model⁵⁰ genannt.

Eine vollständige Vernachlässigung der Polygonanzahl ist jedoch in keinem Fall ratsam, da unter einer unverhältnismäßig komplexen Struktur des Meshs der weitere Produktionsablauf leidet. HERLEIN (2005: 26) beschreibt dieses mit den Worten: „*So viel wie nötig - so wenig wie möglich*“⁵¹. Dieses ist auch auf die Anzahl der Ecken eines Polygons anzuwenden. Unter praktischen Voraussetzungen ist der Einsatz von drei- oder viereckigen Polygonen sinnvoll. Um das Mesh des tic tac-Charakters noch weiter zu vereinfachen, werden Gruppen von Polygonen, die nicht direkt im Bild sichtbar sein werden, zusammengefasst. Dieses betrifft beispielsweise Bereiche auf der Rückseite des Charakters.

45 vgl. Agoston, 2005: 521

46 vgl. Chopine, 2011: 31

47 vgl. Herlein, 2005: 16

48 dt.: Nieder-polygonales Modell; Bed.: Modell bestehend aus einer geringen Anzahl an Polygonen

49 vgl. Herlein, 2005: 16

50 dt.: Hoch-polygonales Modell; Bed.: Modell bestehend aus einer hohen Anzahl an Polygonen

51 Herlein, 2005: 26

5 Layout

Um die Photomatics für den weiteren Produktionsablauf aufzubereiten, werden diese in der 3D-Software durch das Layout-Departement nachgestellt. Diese Abteilung ist dafür verantwortlich, die zweidimensionale Rohform des Films auf drei Dimensionen zu übertragen.⁵² Die Layout-Filme werden Animatic⁵³ genannt und geben einen detaillierteren Überblick des Films in seiner Wirkung. So enthält ein Animatic Entwürfe der Szenenkomposition, der grundlegenden Animationen, der Kamerawinkel und -bewegungen. Durch Layout-Artists werden 3D-Kameras erstellt und deren Framing⁵⁴ festgelegt. Das Framing beschreibt dabei die Auswahl des Bildausschnittes und somit die sichtbaren Elemente eines Shots. Die erste und grundlegende Entscheidung bei der Planung des Framings ist demnach, was in dem Bild dargestellt werden soll. Weiterhin kann die Aufmerksamkeit des Publikums auf einen bestimmten Bereich gelenkt werden. Verschiedene Framings erzeugen dabei verschiedene Wirkungen. Eine Totale beispielsweise ist eine weite Einstellungsgröße, durch die ganze Umgebungen und verschiedene Positionen mehrerer Charaktere gleichzeitig erfasst werden können. So sind totale Einstellungen prädestiniert für die Verwendung als Einführungs-Shot.⁵⁵

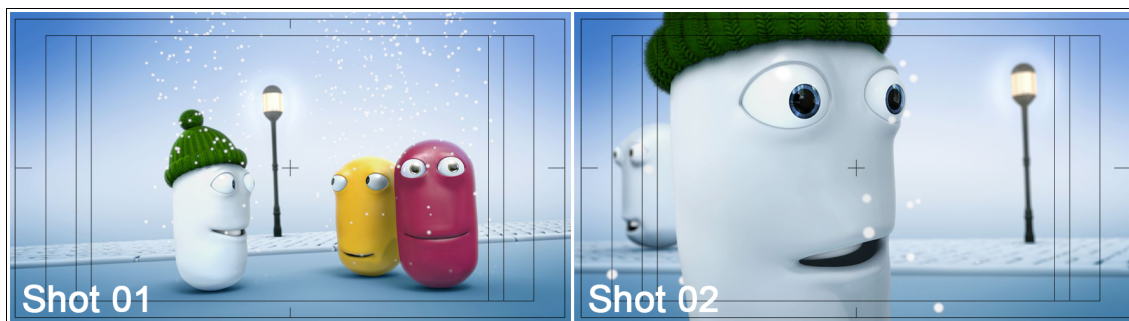


Abbildung 7: Totales und nahes Framing

Abb. 7 Shot 01 zeigt die Verwendung einer Totalen anhand des tic tac-Films. Durch ein weites Framing werden dem Zuschauer Informationen über die Welt vermittelt und die drei Charaktere vorgestellt. Halbnahe und nahe Einstellungen hingegen ziehen den

⁵² vgl. Parent, 2002: 16

⁵³ dt.: Animations-Layout; Bed.: Visualisiertes Storyboard im dreidimensionalen Raum, vorläufige Version von Compu - teranimationen

⁵⁴ dt.: Umrahmung; Bed.: Beschreibung des Bildausschnitts/der Einstellungsgröße eines Shots

⁵⁵ vgl. Birn, 2006: 186

Betrachter direkt in das Geschehen ein und enthüllen Details. Durch Mimik und Gestik hervorgerufene Emotionen sind durch dieses detaillierte Framing besonders gut darstellbar.⁵⁶ Abb. 7 Shot 02 zeigt einen Charakter in einer nahen Einstellung des Gesichtes. Das Empfinden und die Intention der Figur können an erkennbaren Feinheiten des Gesichts abgelesen werden. Um die Studien der unterschiedlichen Framings fortzusetzen, empfehle ich BIRN (2006: 186), welcher in seinem Werk *DIGITAL LIGHTING & RENDERING* eine detaillierte Auflistung von Shotgrößen bietet.

Die Entwicklung von Animatics ist stark mit der Modellierung (s. 4 Modellierung) und der Animation (s. 6 Animation) verknüpft. So werden 3D-Modelle erster Vorstufe bereits verarbeitet, um die Anordnung und Position in der Szene zu klären und dem Photomantic nachzuempfinden. Weiterhin werden die einzelnen Elemente animiert. Dieses geschieht nicht im Detail, da ein Animatic lediglich die grobe Wirkungsweise der Animation verdeutlichen soll.⁵⁷ Die Modelle und deren Animation werden im Laufe des Produktionsprozesses durch detailliertere Versionen im Animatic ersetzt. Die Einrichtung der Kamera und somit das Framing sind in diesem Stadium jedoch für den gesamten Film bindend. Ein Animatic beschreibt demnach zusammenfassend die grundlegende Mechanik der einzelnen Shots und dient als Richtlinie für die weitere Animation.

⁵⁶ vgl. Birn, 2006: 186

⁵⁷ vgl. Parent, 2002: 16

6 Animation

6.1 Grundlagen

Sobald das Modell eines Charakters ein vorzeitig finales Stadium erreicht hat, kann damit begonnen werden, es für die Animation vorzubereiten. Die Arbeit des Animations-Departements beruht dabei auf den Animationsgrundlagen, die bereits durch das Layout-Departement im Animatic festgesetzt wurden. Diese Rohform ist die Grundlage für die folgende Animation feiner Gestik, Mimik und Bewegungen, die die Szene formen.⁵⁸ Der Begriff Animation stammt vom lateinischen Wort „animare“ ab und bedeutet „zum Leben erwecken“. Aus statischen Elementen werden demnach durch die Arbeit des Animations-Departements bewegte Charaktere mit Geist und Seele.⁵⁹ Dahinter verbirgt sich, dem Betrachter durch die schnelle Aufeinanderfolge von Einzelbildern den Eindruck von Bewegung zu simulieren. Dieser Gedanke existiert seit der Entstehung des Bewegtbilds. Wurde im frühen Stadium noch jedes Frame von Hand gezeichnet, konnten im weiteren Verlauf der Animationsgeschichte durch das Fotografieren von Bildern Figuren durch die Stop-Motion-Technik⁶⁰ animiert werden. Bei der modernen digitalen 3D-Animation ist es nicht mehr notwendig jedes Frame separat zu animieren. Die Prinzipien basieren jedoch immer noch auf den Errungenschaften der ursprünglichen Entwicklung (s. 6.3 Optik und Haptik der Animation).

Die Geschwindigkeit, in der Bilder aufeinander folgen, ist die Framerate⁶¹ eines Films. Diese gibt an, wie viele Bilder pro Sekunde dargestellt werden. Die geläufige Angabe ist daher Frames per second (fps). Unterschiedliche Sendestandards der Welt beruhen auf verschiedenen Framerates. Der NTSC⁶²-Standard beispielsweise, der in Nord Amerika und dem Pazifischen Raum vorherrscht, beschreibt eine Geschwindigkeit der Bildabfolge von 29,97 fps, während der PAL⁶³-Standard durch eine Framerate von 25

⁵⁸ vgl. Parent, 2002: 17

⁵⁹ vgl. Chopine, 2011: 103

⁶⁰ dt.: Stopptrick; Bed.: Animationstechnik zur Animation von Objekten durch Einzelbilder und geringfügige Änderung der Szene für jedes Bild

⁶¹ dt.: Bildfrequenz, Bildwechselfrequenz; Bed.: Angabe der Anzahl der Frames in einer Sekunde

⁶² National Television System Committee

⁶³ Phase Alternating Line

fps definiert ist.⁶⁴ Da der tic tac-Spot für die Ausstrahlung im deutschen Raum vorgesehen ist, wird eine Framerate von 25 fps für die virtuelle Kamera festgesetzt, die die Grundlage für das Timing der Animation bietet.

6.2 Vorbereitungen und Erstellung des Rigs

Das Rigging⁶⁵ ist der Prozess, einen Charakter animierbar zu machen. Rigs sind Skelette, die Einstellungsmöglichkeiten für Position und Ausrichtung enthalten, um verschiedene Teile eines Objektes (z.B. den Körper eines Charakters) zu animieren.⁶⁶ Das grundlegende Prinzip beruht darauf, der Geometrie eines Modells ein Skelett zuzuweisen. Durch einzelne Knochen und Gelenke kann der animierende Artist dann im Nachhinein die Posen des Charakters festlegen. Weiterhin werden Einstellungsmöglichkeiten erstellt, die beispielsweise die Öffnung des Munds steuern oder den Charakter blinzeln lassen. Der Rigging-Prozess und die darauf aufbauende Animation sind abhängig von der Qualität des zu riggenden Meshs. Nach RITCHIE et al. (2005: 95) wird dieses wie folgt beschrieben: *„If the mesh is not modeled correctly, no amount of complex rigging will save the day. The mesh is your foundation and if it 'sucks', so will your animation.“*⁶⁷

Grundsätzlich gilt, dass das Skelett und alle umgebenden Einstellungscontroller des Charakters das Rig bilden. Die Aufgabe des riggenden Artists ist es weiterhin, das Rig auf seine Animierbarkeit zu testen, das heißt zu untersuchen, wie sich die Geometrie des Charakters bei der Deformation in verschiedenen Posen verhält. Auf Grundlage dieser Test können die einzelnen Teile angepasst werden. Ebenfalls muss beim Riggen der Look und das Feeling des Charakters berücksichtigt werden. Sollen comicartige Bewegungen simuliert werden oder beispielsweise eine überdurchschnittlich starke Deformation des Körpers von staten gehen, muss dieses bereits im Rig verankert werden, um dem Animations-Departement die Möglichkeit zu bieten, dies umzusetzen. RITCHIE et al. (2005: 7) teilen diese Komplexität in zwei Bereiche: *„Creature Rigging involves many different skills. It is half art and half science.“*⁶⁸

64 vgl. Schmidt, 1996: 14

65 dt.: Einrichten, rüsten, einstellen; Bed.: Arbeitstechnik der 3D-Animation, Konstruktion eines Skeletts für die Bewegung der einzelnen Mesh-Abschnitte und Positionierung des Modells

66 vgl. Chopine, 2011: 85

67 Ritchie et al., 2005: 95; dt.: „Wenn das Mesh nicht korrekt modelliert ist, kann dieses nicht durch komplexes Rigging ausgeglichen werden. Das Mesh bildet die Basis und wenn es 'schlecht' ist, wird es auch die Animation sein.“

68 Ritchie et al., 2005: 7; dt.: „Das Riggen von Lebewesen umfasst verschiedene Fähigkeiten, Es ist zur Hälfte Kunst und zur Hälfte Wissenschaft.“

Das Fundament eines jeden Rigs ist die Aufteilung der einzelnen Bestandteile in eine Hierarchie. Diese beschreibt, welche Teile des Rigs anderen unterliegen. Die Hauptteile werden Parents⁶⁹ genannt und kontrollieren Childs⁷⁰. In der Hierarchie befinden sich die Parents über den zugehörigen Childs, welche als Parents für weitere Childs dienen können.

Ein Rig wird auch als Armature⁷¹ bezeichnet. Armatures werden meist bei der Animation von Charakteren verwendet, um einen Charakter in Position zu bringen. Um diese den Proportionen des Modells anzupassen, bedarf es ausgiebiger Kenntnisse im Bereich der Anatomie. Es ist von großer Bedeutung sich im Vorfeld eine Vorstellung über Gelenke und Proportionen zu verschaffen, um selbst an einer fantastischen Figur wie einem tic tac-Charakter reale Bewegungsmuster zu simulieren.

Nach der Erstellung und Anordnung eines Rigs steht dieses noch in keinem Zusammenhang mit dem Mesh der Figur. Die Zuordnung des Meshs zu einem Armature-Rig wird Skinning⁷² genannt. Dabei wird das Mesh je nach Ausrichtung des Armatures verformt und in Position gebracht. Es ist also vergleichbar mit dem Aufspannen der Haut über ein Skelett. Skinning ist der essentielle Schritt nach der Erstellung des 3D-Skeletts und der grundlegenden Motorik des zu animierenden Objektes. Da die Verbindung von Mesh und Armature in den seltensten Fällen reibungslos vonstatten geht, wird in dieser Phase auch der Einfluss des Rigs auf verschiedene Punkte des Meshs eingestellt, um natürliche Bewegungsabläufe zu simulieren. So kann durch eine zusätzliche Hierarchie im Mesh, also durch das Gewichten einzelner Mesh-Abschnitte, der Einfluss des Skeletts angepasst und Fehlberechnungen an den Gelenkpunkten verhindert werden.⁷³ Dieses schwächt die Deformation des Meshs an bestimmten Punkten ab, wodurch besonders Gelenkpunkte weicher erscheinen.

69 dt.: Elternteil, Vorgänger; Bed.: Übergeordneter Kontrollpunkt eines Rigs

70 dt.: Kind, Nachfolger; Bed.: Untergeordneter Kontrollpunkt eines Rigs

71 dt.: Armatur, Skelett, Ausrüstung; Bed.: Verkettung von Kontrollpunkten für das Posieren digitaler Figuren

72 dt.: Häutung, Hautbildung; Bed.: Methode zur Verbindung von Mesh und Armature

73 vgl. Rossano, 2004: 164

6.3 Optik und Haptik der Animation

Die Animation der tic tac-Charaktere wird so angelegt, dass sie zum einen Anspruch an reale Bewegungen hat, zum anderen aber durch Übertreibung den Zuschauer erreicht und die humoristische Stimmung des Films unterstreicht.⁷⁴

Es gibt eine Menge Faktoren, die den Zuschauer an der Animation teilhaben lassen und seine Aufmerksamkeit wecken. THOMAS und JOHNSTON haben als Teil der Walt Disney Animation Studios Richtlinien in ihrem Buch *THE ILLUSION OF LIFE: DISNEY ANIMATION* 1981 festgelegt, welche heute noch Aktualität besitzen und die Grundlage für eine gute Animation sind. „*These guidelines have become standard for the animation industry.*“⁷⁵

Zum einen wird die Tatsache beschrieben, dass ein Körper immer eine gewisse Masse besitzt und durch Gravitation beeinflusst wird. Das Mesh eines Körpers verformt sich also bei der Interaktion, um seine Ausgangsmasse zu erhalten.⁷⁶ Das Volumen eines Objektes muss demnach bei der Deformation gleich bleiben. Die Verformung der Gesichtspartien führt also ebenfalls eine Deformation der umliegenden Partien nach sich. Dieses spiegelt sich in Squash und Stretch⁷⁷ wieder.

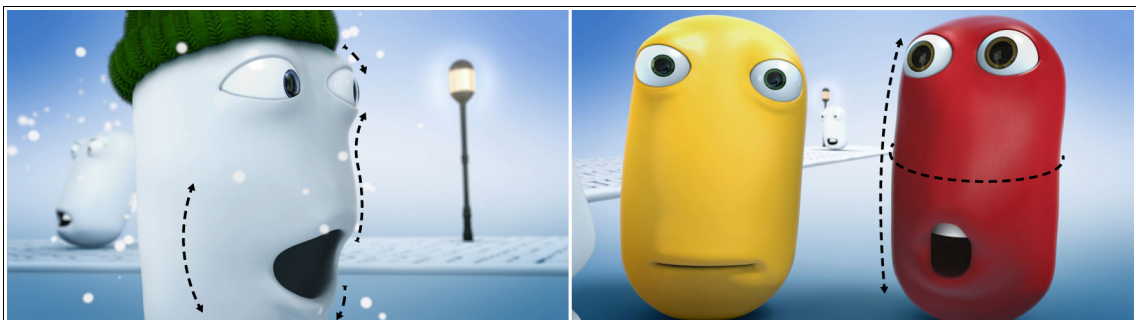


Abbildung 8: Animationsprinzip - Squash und Stretch

Abb. 8 zeigt das Prinzip des Squash und Stretch am Beispiel der tic tac-Charaktere. Die Verformung des Mundes zieht ebenfalls eine Deformation der oberen Gesichtshälfte nach sich (Abb. 8, linkes Bild). Durch das Öffnen des Mundes strecken sich die seitlichen Partien des Körpers, während sich die Lider der Augen zusammenpressen. Auch bei der Streckung des roten tic tac-Charakters (Abb. 8, rechtes Bild) wird das Prinzip

⁷⁴ vgl. Chopine, 2011: 103

⁷⁵ Chopine, 2011: 103; dt.: „Diese Richtlinien sind zu einem Standard in der Animationsindustrie geworden.“

⁷⁶ vgl. White, 2009: 36

⁷⁷ dt.: Stauchung und Streckung; dt.: Animationsprinzip, Verformung von Körpern unter Erhalt der Körpermasse

des Squash und Stretch berücksichtigt. Durch die Biegung und das Strecken in die Höhe verschmälert sich der Körperrumfang, um das Volumen zu erhalten.

Gerade bei Filmen in denen eine comicartige Wirkungsweise der Animation dargestellt werden soll, bietet es sich an, Attribute wie Streckung und Stauchung zu übertreiben, um den Unterhaltungsgrad des Charakters zu steigern. Ein tic tac, welches beispielsweise nach dem Fall mit dem Boden kollidiert, kann im Moment des Aufpralls eine übermäßig starke Stauchung erfahren. Dieses ist zwar fernab jeglicher physikalischer Massengesetze, begünstigt jedoch den scherzhaften Gesamteindruck.

Weiterhin wird aufgezeigt, dass der Fokus klar auf dem handelnden Charakter liegen sollte, um die Aufmerksamkeit des Zuschauers auf diesen zu lenken. Umgebene Elemente treten in den Hintergrund und schaffen Platz für die Haupthandlung. THOMAS und JOHNSTON beschreiben dieses als Staging⁷⁸. Dadurch kann dem Zuschauer die Intention des Shots durch die bloße Positionierung der Elemente nahe gelegt werden.⁷⁹ „*This is the art of communicating an idea clearly through imagery.*“⁸⁰ Es bietet sich demnach die vollkommene Kontrolle darüber, wie ein Charakter in einer Szene wirkt. Dabei stellt sich die Frage, ob der Fokus klar auf der handelnden Person liegen soll oder diese durch ein chaotisches Arrangement der Objekte in der Szene untergeht.⁸¹

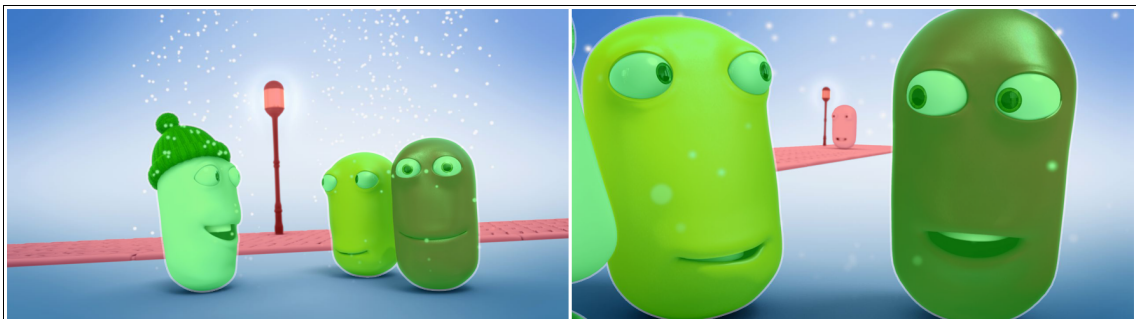


Abbildung 9: Animationsprinzip - Staging

Anhand von Abb. 9 lässt sich das Prinzip des Staging am Beispielfilm erkennen. Um den Handlungsfluss verständlich zu vermitteln, werden die drei Hauptcharaktere im Vordergrund platziert (Abb. 9, grün). Elemente wie der Fußweg, die Lampe und Nebencharaktere (Abb. 9, rot) bilden den Hintergrund und unterstützen die Atmosphäre ohne

⁷⁸ dt.: Inszenierung; Bed.: Animationsprinzip, Arrangement von Elementen einer Szene

⁷⁹ vgl. Thomas et al., 1981: 57

⁸⁰ Chopine, 2011: 105; dt.: „Dies ist die Kunst eine Idee über das Bild deutlich zu transportieren.“

⁸¹ vgl. Chopine, 2011: 105

vom eigentlichen Geschehen abzulenken. Durch ausgewähltes Staging, ergibt sich eine Gewichtung zwischen Haupt- und Nebenhandlung.

Des Weiteren beschreiben THOMAS und JOHNSTON den Bereich der Secondary Action⁸². Das sind Bewegungen, die nicht in erster Linie durch die Hauptanimation beeinflusst werden, aber als Nebeneffekt auftreten.⁸³

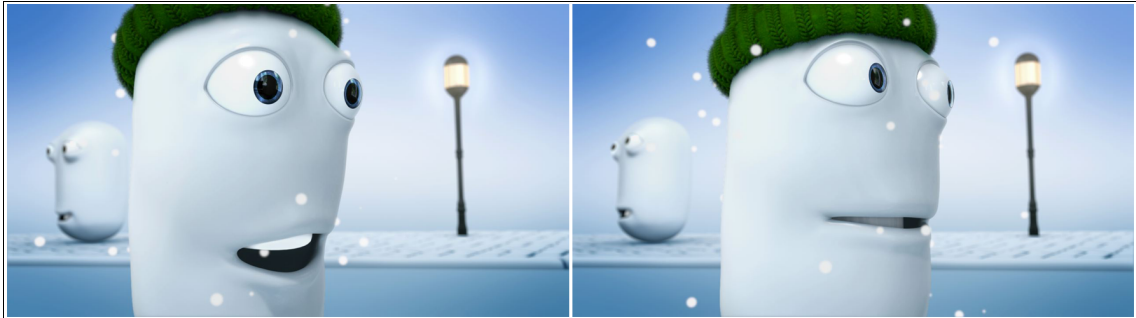


Abbildung 10: Animationsprinzip - Secondary Action

In Abb. 10 erkennt man diese auftretenden Nebeneffekte anhand der Wollmütze. Jede Bewegung des Charakters zieht eine Secondary Action der Mütze in Form von Nachschwingen mit sich. Obwohl die Mütze nicht direkt Teil der Hauptanimation des tic tac-Charakters ist, reagiert sie auf diese.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird auf die Methode der Umsetzung dieser Prinzipien eingegangen.

6.4 Keyframing

Das Prinzip des Keyframing⁸⁴ ist das fundamentalste Werkzeug der digitalen Animation. Dadurch kann die Bewegung der Charaktere im Verlauf der Zeit festgelegt werden. Keyframing ist jedoch nicht auf den Positionsparameter begrenzt, sondern kann auf alle Attribute wie Rotation, Skalierung, Deformation, Farbe etc. angewandt werden. Durch das Keyframing können also alle Attribute eines Objektes animiert werden, die in Bezug zu der Zeit gesetzt werden können.⁸⁵ Um den Arbeitsaufwand, der beim Animieren entsteht, einzugrenzen, wird der Charakter nicht für jedes Bild einzeln in Pose ge-

⁸² dt.: Sekundärhandlung; Bed.: Animationsprinzip, Berücksichtigung von durch die Haupthandlung hervorgerufenen Nebeneffekten

⁸³ vgl. Thomas et al., 1981: 68

⁸⁴ dt.: Schlüsselbild-Animation; Bed.: Animation durch Setzen von Schlüsselbildern an bestimmten Punkten im Zeitverlauf des zu animierenden Attributs

⁸⁵ vgl. Rossano, 2004: 14

bracht. Keyframes⁸⁶ beschreiben die Schlüsselpunkte des Animationspfades und müssen so lediglich an Extremen definiert werden, um den Zustand des Objektes zu beschreiben. Meist geschieht dies durch die Definition eines Start-, Mittel- und Endpunktes auf dem Zeitstrahl der Animation, welche nach Bedarf durch weitere Schlüsselpunkte ergänzt werden können. Die fehlenden Zwischenbilder werden durch die Animationssoftware interpoliert.⁸⁷ „In computer animation, the term key frame has been generalized to apply to any variable whose value is set at specific key frames and from which values for the intermediate frames are interpolated according to some prescribed procedure.“⁸⁸

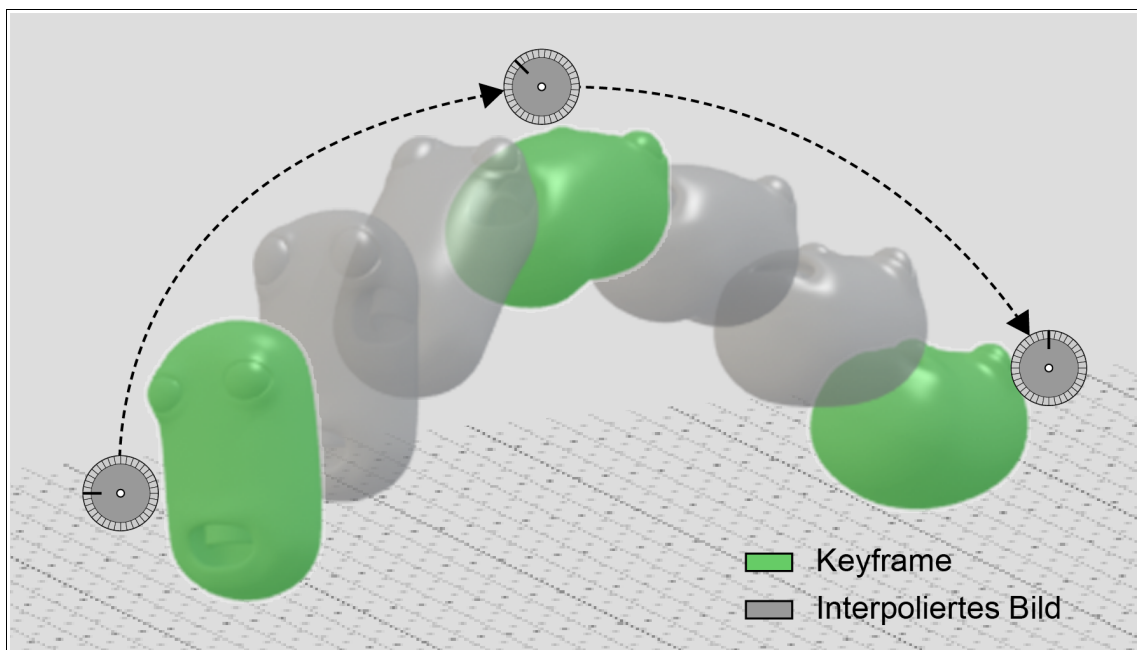


Abbildung 11: Keyframing der Fallbewegung eines tic tac-Charakters

Betrachtet man das Beispiel des ausrutschenden Charakters in Abb. 11 aus dem tic tac-Spot, wird das Prinzip deutlich. Der Charakter ändert bei der Fallbewegung sowohl seine Position als auch seine Rotation im Zeitverlauf. Beide Attribute müssen berücksichtigt werden. Die Startpose wird durch Keyframes zu Beginn der Animation als aufrechte Pose festgelegt. Im höchsten Punkt der Fallkurve wird der Charakter rotiert und mit weiteren Keyframes versehen. Den Abschluss der Animation bildet die Pose des liegenden tic tac-Charakters, welche ebenfalls Keyframes in Position und Rotation erhält. Diese drei Punkte (Abb. 11, grün) sind ausreichend für die Beschreibung der Ani-

⁸⁶ dt.: Schlüsselbild; Bed.: Schlüsselpunkte des Animationspfades im Zeitverlauf

⁸⁷ vgl. Parent, 2002: 64

⁸⁸ Parent, 2002: 116

mation. Die fehlenden Zwischenbilder, werden durch die 3D-Software anhand des Animationspfades berechnet (Abb. 11, grau), so dass sich eine flüssige Bewegung ergibt.

Bei einer guten Animation ist darauf zu achten, dass realistische Bewegungen niemals abrupt beginnen oder enden. Lineare Bewegungen, die abrupt anfangen und enden, erinnern den Betrachter an mechanische Vorgänge und sind kontraproduktiv für die lebhaft wirkung der Charaktere.⁸⁹ Da jedes animierte Attribut in einem Graph dargestellt wird, kann die Animation über die kurvenförmige Ausrichtung des Graphs beschleunigt oder verlangsamt werden.⁹⁰ Bewegungen beginnen leicht, werden im Verlauf der Zeit schneller und laufen weich zum Endpunkt aus. Um den tic tac-Charakter lebhaft darzustellen, ist eine starke Ausprägung des kurvenförmigen Animationsgraphen notwendig. Für weiterführende Informationen zu diesem Ease-In-/Ease-Out-Prinzip⁹¹ empfehle ich PARENT (2002: 86).

6.5 Gesichtsanimation

Gesichtsausdrücke sind das essentielle Werkzeug, um dem Charakter Leben zu verleihen, Emotionen zu transportieren und Persönlichkeiten zu definieren. Eine Definition dieser Ausdrücke wurde 1978 von PAUL EKMANN in seinem FACIAL ACTION CODING SYSTEM (FACS)⁹² festgesetzt. Es umfasst 64 eindeutige Verformungen des Gesichtes, die die darstellbaren Emotionen abdecken. Diese werden Facial Action Units (AU)⁹³ genannt. Da es schwer ist, 64 Ausdrücke eines Charakters zu definieren, haben sich im Verlauf der Animationsgeschichte sechs Extreme herauskristallisiert. Diese sind Freude, Überraschung, Ekel, Angst, Trauer und Wut.⁹⁴

Abb. 12 zeigt die sechs Hauptgesichtsausdrücke Freude, Überraschung, Ekel, Angst, Trauer und Wut (v.l.n.r.) stilisiert anhand von Skizzen des tic tac-Charakters.

89 vgl. Rossano, 2004: 22

90 vgl. Parent, 2002: 66

91 dt.: Einleiten/abklingen; Bed.: Keyframing-Technik, geschmeidiger Animationsstart und -ende durch kurvenförmige Ausrichtung des Animationsgraphen, Beschleunigung und Ausbremsen der Animation des jeweiligen Attributs

92 dt.: Gesichtsbewegungen-Kodierungssystem; Bed.: Weltweit verbreitetes Kodierungsverfahren zur Beschreibung von Gesichtsausdrücken

93 dt.: Bewegungseinheit des Gesichtes; Bed.: Definition eines Gesichtsausdrucks des Facial Action Coding Systems

94 vgl. Chopine, 2011: 117

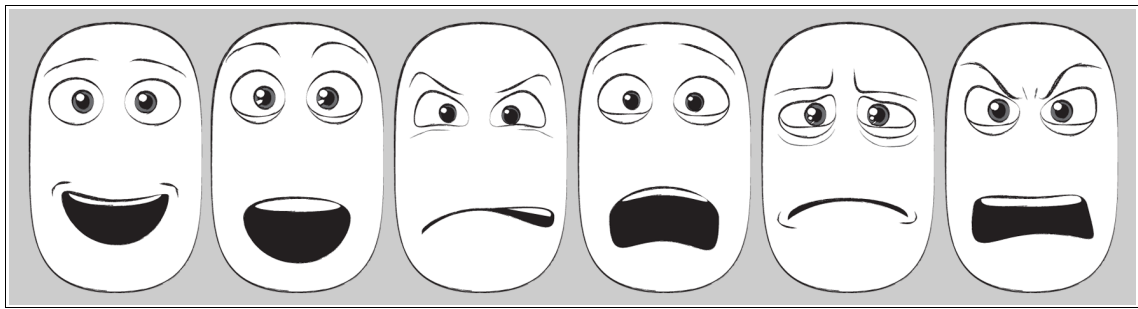


Abbildung 12: Skizzenhafte Darstellung der Hauptgesichtsausdrücke

Die Gesichtsausdrücke können in einer 3D-Software als Shape⁹⁵ modelliert werden. Durch entsprechende Einstellungsregler des Rigs lassen sie sich miteinander verblenden. Diese Form der Gesichtsanimation wird daher als Blendshape-Animation⁹⁶ bezeichnet. Durch die Kombination der einzelnen Blendshapes in verschiedener Ausprägung können so unzählige Gesichtsausdrücke und Emotionen dargestellt werden. Die Animation der Blendshapes erfolgt dabei analog zu den restlichen Attributen des Charakters via Keyframing.

Betrachtet man Abb. 12 wird deutlich, dass unter anderem die Augenbrauen Träger von Emotionen sind. „*The brows do indeed help [...] to create emotion.*“⁹⁷ Im Beispiel des tic tac-Films sind diese jedoch nicht CI-konform und dürfen somit nicht Bestandteil des Modells sein. Um dennoch lebendige Dynamik innerhalb des Gesichtes vermitteln zu können, muss verstärktes Augenmerk auf die Animation des Mundes und der Augen gelegt werden.

95 dt.: Form, Gestalt, Ausprägung; Bed.: Modellierter Ausdruck, hier: Gesichtsausdruck

96 dt.: Formenüberblendungs-Animation; Bed.: Animationstechnik zur Überblendung verschiedener Ausdrücke/Gesichtsausdrücke

97 Osipa, 2007: 21; dt.: „Die Augenbrauen helfen dabei [...] Emotionen zu erzeugen.“

7 Shading

7.1 Interaktion von Licht und Materie

Parallel zur Animation kann durch das Shading-Departement auf Grundlage der Entwürfe des Art-Departements das visuelle Erscheinungsbild der Objekte der Szene erstellt werden. Dabei werden Definitionen der Materialeigenschaften der Oberflächen beschrieben. Diese Definitionen nennt man Shader⁹⁸. „*Shading is the process of designing, assigning, and adjusting shaders to develop unique looks for the objects in a 3D scene.*“⁹⁹ Shader legen insbesondere Farbe, Transparenz, die Menge des zurückgeworfenen Lichtes sowie die Art und Weise, wie die Lichtreflexionen berechnet werden, fest.¹⁰⁰ Es wird unter anderem angegeben, wie das Licht von der Oberfläche gestreut oder zurückgeworfen wird (s. 7.2 Reflexionsarten). Das Shading der Elemente dient als Grundlage für den weiteren Beleuchtungsaufbau der Szene (s. 8 Lighting). Durch die Materialbeschreibung können Aussagen über Alter, Beschaffenheit, Konsistenz und Medium einer Oberfläche getroffen werden. Sollte das Äußere eines Objektes nicht durch Standard-Shader, welche in jeder 3D-Software verankert sind, beschrieben werden können, müssen individuelle Shader programmiert werden. Viele Artists des Shading-Departements besitzen deshalb erweiterte Computerkenntnisse im Bereich der Programmierung.

Zur Erstellung eines stimmigen Gesamtbildes müssen diverse Faktoren beachtet werden. Um die Eigenschaften einer Oberfläche zu beschreiben, ist es notwendig, die Interaktion von Licht und Materie in der Realität zu betrachten. In der Wirklichkeit zieht bereits die pure Existenz einer Lichtquelle eine Vielzahl von auftretenden Ereignissen nach sich. Dieses sind unter anderem die Entstehung von Schatten, die Reflexion an spiegelnden glatten Oberflächen, die Brechung und Farbaufspaltung des Lichts durch transparente Oberflächen sowie die Absorption des Lichtes. In einem 3D-Programm müssen diese Effekte berücksichtigt und einzeln simuliert werden. Licht hat bei der Interaktion mit einem Körper einen großen Einfluss auf das Plastizitätsempfinden. Durch

98 dt.: Schattierungswerkzeug; Bed.: Werkzeug zur Beschreibung von Materialeigenschaften einer Oberfläche

99 Birn, 2006: 248; dt.: „Shading ist der Prozess Shader zu entwerfen, zuzuweisen und einzustellen, um einzigartige Looks für die Objekte einer 3D-Szene zu entwickeln.“

100 vgl. Chopine, 2011: 140

das Interpretieren heller und dunkler Punkte erstellt das Auge des Betrachters Tiefeninformationen und vermittelt die Empfindung von Dreidimensionalität. *„An elderly face can appear wiser simply because of the depth of its creases. Before a storm, ordinary sunlight takes in an ominous tone, and objects appear less defined. The same room can look very different when it is lit by a television or by candlelight.“*¹⁰¹ Jedes dieser Beispiele von DEMPSKI et al. (2005: 1) beschreibt Situationen, in denen unsere Wahrnehmung von Realität bereits durch geringe Nuancen in der Interaktion zwischen Licht und umgebenen Objekten beeinflusst wird. Das Shading einer virtuellen Welt bietet daher ein großes Potential für die Verbesserung des Gesamteindrucks. *„Much of the effective appearance of an object comes not from its shape but from the visual qualities of its surface.“*¹⁰² So kann selbst einem einfachen Modell durch ausgewählte Shading-Informationen ein hoher Grad an Realismus verliehen werden, wo hingegen eine gut modellierte Szene durch falsche Shading-Parameter „flach“ und realitätsfern erscheint.

7.2 Reflexionsarten

Die Oberflächenwirkung auf den Betrachter hängt davon ab, wie die entsprechende Oberfläche Licht reflektiert. Beim Shading wird hierbei in zwei idealisierte Reflexionsarten unterschieden. Zum einen kann Licht bei der Reflexion auf einer Oberfläche einheitlich in alle Richtungen gestreut werden. Auf der anderen Seite stehen Strahlen, deren Ausfallswinkel dem Einfallswinkel entspricht, die somit perfekt reflektiert werden. Die idealisierten Reflexionsarten unterscheiden sich im Groben zwischen dem Winkel des einfallenden Lichtes und dem Winkel des reflektierten Lichtes.¹⁰³

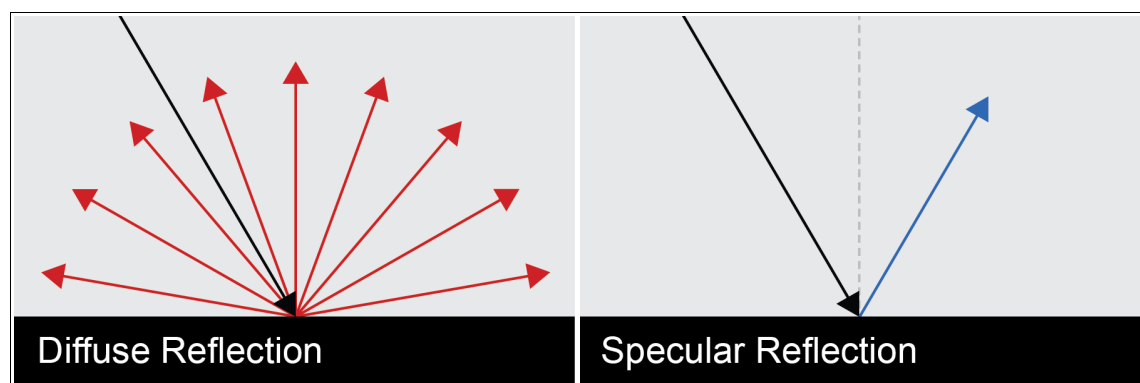


Abbildung 13: Diffuse und Specular Reflexion

¹⁰¹ DempSKI et al., 2005: 1

¹⁰² Parent, 2002: 16; dt.: „Ein Großteil des eigentlichen Aussehens eines Objektes hängt nicht von seiner Form sondern von den visuellen Eigenschaften seiner Oberfläche ab.“

¹⁰³ vgl. Birn, 2006: 248

Licht, das auf eine raue Oberfläche trifft und zurückgeworfen wird, wird gestreut und je nach Oberflächenstruktur in verschiedene Richtungen verteilt. Dieser Vorgang wird durch den Diffuse Shader¹⁰⁴ eines Materials simuliert und Diffuse Reflection¹⁰⁵ genannt (Abb. 13, linkes Bild).¹⁰⁶ Eine ideale diffuse Reflexion beschreibt demnach das gleichmäßige Reflektieren des Lichts in alle Richtungen. Weiterhin wird die Farbe des Materials bestimmt, wenn es von Licht beschienen wird. Diffusion findet vor allem auf Oberflächen mit einer gewissen Struktur statt. Es wird versucht einen realistischen weichen Lichtverlauf von hell zu dunkel zu simulieren - vom Punkt der stärksten bis hin zum Punkt der schwächsten Beleuchtung. Der Diffuse Shader ist nicht vom Blickwinkel abhängig und weist daher aus jedem Betrachtungswinkel die gleiche Intensität des gestreuten Lichtes auf. Diffus reflektiertes Licht ist unabhängig vom Standpunkt der Kamera. Die Menge des Lichtes, welches die Oberfläche erreicht und weiter berechnet wird, hängt also lediglich vom Einfallswinkel und somit von der Position der Lichtquelle in Bezug auf das Objekt ab. Wenn das meiste Licht von der Oberfläche diffus reflektiert wird, erhält die Oberfläche ein mattes Erscheinungsbild.

Im Gegensatz zur Diffuse Reflection steht die Specular Reflection¹⁰⁷, welche durch Specular Shader¹⁰⁸ simuliert wird (Abb. 13, rechtes Bild). „*Pure specular materials could be thought of as the opposite of purely diffuse materials.*“¹⁰⁹ Die eintreffenden Strahlen werden nicht gestreut, sondern parallel reflektiert. Damit wird die Berechnung von hellen Highlightreflexen, die bei der Spiegelung von Lichtern besonders auf glänzenden Oberflächen entstehen, beschrieben. Diese Highlights werden Speculars¹¹⁰ genannt. Anders als bei diffuser Reflexion sind Glanzlichter vom Blickwinkel abhängig, da es sich um eine Simulation von Spiegelungen handelt. Specular Reflection erscheint in erster Linie auf glatten Oberflächen, auf denen der Austrittswinkel des Lichtes dem Eintrittswinkel nahe kommt.

Jede Oberfläche der Realität weist eine Kombination aus diffuser und spiegelnder Reflexion auf. So gibt es keine Oberfläche, die Licht perfekt parallel reflektiert. Selbst ein

104 dt.: Diffuser Schattierer; Bed.: Schattierungswerkzeug zur Simulation der Lichtstreuung bei diffusen Reflexionen

105 dt.: Diffuse, gestreute Reflexion; Bed.: Reflexionsart, Streuung des Lichtes durch die Reflexion auf Oberflächen mit gewisser Struktur

106 vgl. Dempski et al., 2005: 90

107 dt.: Spiegelnde, gerichtete Reflexion; Bed.: Reflexionsart, gerichtete Reflexion des Lichtes auf glatten Oberflächen

108 dt.: Spiegelnder Schattierer; Bed.: Schattierungswerkzeug zur Simulation des Lichtes bei gerichteten Reflexionen und auftretenden Highlight-Reflexen

109 Dempski et al., 2005: 93; dt.: „Vollkommen gerichtet reflektierende Materialien können als Gegenteil zu vollkommen diffus reflektierenden Materialien betrachtet werden.“

110 dt.: Glanzlicht, Highlight-Reflex; Bed.: Durch die Lichtquelle hervorgerufener Highlight-Reflex bei der gerichteten Reflexion des Lichtes

Spiegel streut durch seine Struktur das reflektierte Licht zu einem gewissen Grad. Auf der anderen Seite gibt es keine Flächen, die Licht vollständig diffus streuen. Beim Shading der Objekte des tic tac-Films müssen daher stets beide Reflexionsarten berücksichtigt werden und je nach gewünschtem Erscheinungsbild zueinander ausbalanciert werden.

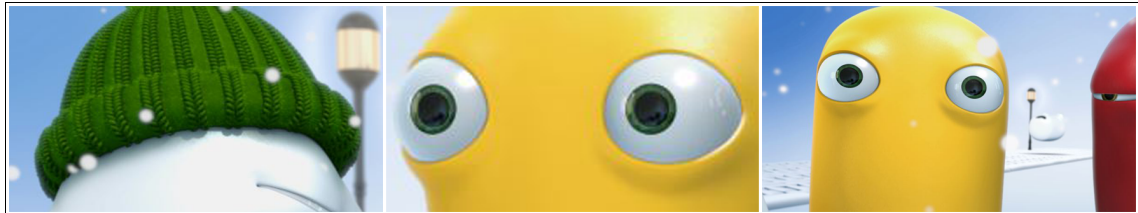


Abbildung 14: Gegenüberstellung unterschiedliche Shader des tic tac-Spots

Abb. 14 zeigt drei verschiedene Shader der tic tac-Charaktere. Die Mütze besticht durch ein diffuses Erscheinungsbild, wodurch eine wollartige Struktur imitiert wird (Abb. 14, linkes Bild). Ein hoher Grad an Lichtstreuung ergibt ein flauschiges Äußeres. Spiegelnde Reflexionen fließen lediglich in geringer Stärke nahezu unterschwellig in das Shading der Mütze ein. Die Augen brillieren durch ein glänzendes Äußeres (Abb. 14, Bildmitte). Ein hoher Grad an Specular Reflection erzeugt harte Glanzpunkte, die die spiegelnde Oberfläche des Auges unterstreichen. Die Schale des Körpers weist eine ausgewogene Balance zwischen diffusen und spiegelnden Shading-Informationen auf (Abb. 14, rechtes Bild). Durch die Nachahmung einer körnigen Zusammensetzung wird das Licht gestreut. Dennoch finden sich gerade oberhalb der Augen helle Glanzpunkte, die dem Körper Brillanz verleihen.

Um die Strahlen im dreidimensionalen Raum effektiv berechnen zu können, muss ein ressourcenschonender Algorithmus verwendet werden. Dieser findet sich im Prinzip des Raytracings wieder.

7.3 Raytracing

Raytracing¹¹¹ beschreibt einen Algorithmus, der die Verbreitung von Licht in der virtuellen Welt unter Berücksichtigung von physikalischen Gesetzen der Optik simuliert. Durch die Entwicklung des Raytracings wurde der erste Algorithmus der 3D-Computergrafik erschaffen, der auf physikalischer Basis beruht. Dabei wird das ausgesandte

111 dt.: Strahlenverfolgung; Bed.: Auf Aussendung von Strahlen basierender Algorithmus zur Verdeckungsrechnung

Licht als eine Gruppe von Lichtstrahlen betrachtet, welche als Ray¹¹² bezeichnet werden. In seiner Grundform ist das Raytracing lediglich die Verfolgung von Lichtstrahlen zur Verdeckungsrechnung, also zur Ermittlung der Sichtbarkeit von dreidimensionalen Objekten von einem bestimmten Punkt im Raum aus. Raytracing wurde seit seiner ersten Verwendung in der Computergrafik jedoch mehrmals wesentlich erweitert. So bezeichnet man als Raytracing mittlerweile darüber hinaus mehrere Erweiterungen dieses grundlegenden Verfahrens, die den weiteren Weg von Strahlen nach dem Auftreffen auf Oberflächen unter Berücksichtigung der Lichtverteilung berechnen. Die weiterführende Interaktion zwischen Lichtquelle und Objekten wird simuliert, wodurch photorealistische Bilder erzeugt werden können.¹¹³ Raytracing ist daher die Berechnung natürlicher Lichtbrechung, Reflexion und Schattierung.¹¹⁴

In der Natur gehen alle Strahlen von Lichtquellen aus. Es erreicht aber nur ein Teil dieser Strahlen den Betrachter. Da nur dieser Teil für die Darstellung einer dreidimensionalen Szene notwendig ist, ist es für die effiziente Berechnung sinnvoll, den Strahlenverlauf umzukehren.¹¹⁵

Ausgangspunkt der Rays nach diesem Algorithmus sind demnach nicht die Punkte der Lichtquellen sondern das Sichtfeld der aktiven Kamera einer Szene. *„Das Prinzip der Aussendung der Strahlen vom Augpunkt aus ähnelt dem Aufbau einer Lochkamera, bei der ein Objekt auf einem Film abgebildet wird. Beim Raytracing sind allerdings „Film“ (Bildebene) und „Loch“ (Augpunkt) vertauscht. Ähnlich wie bei der Lochkamera bestimmt der Abstand zwischen Bildebene und Augpunkt die „Brennweite“ und damit den Blickwinkel, mit dem die Szene betrachtet wird.“*¹¹⁶ Da dieser Prozess die Invertierung der Realität ist, wird für den Begriff Raytracing auch das Synonym Backward Raytracing¹¹⁷ verwendet.

112 dt.: Strahl, Lichtstrahl; Bed.: Ausgesandter, gradliniger Strahl im dreidimensionalen Raum

113 vgl. Birn, 2006: 264

114 vgl. Chopine, 2011: 143

115 vgl. Dempski et al., 2005: 30

116 Ardito, 2010: 1188

117 dt.: Umgekehrte Strahlenverfolgung; Bed.: Alternative Bezeichnung des Raytracing-Algorithmuses auf Grundlage der Invertierung des Strahlenverlaufs

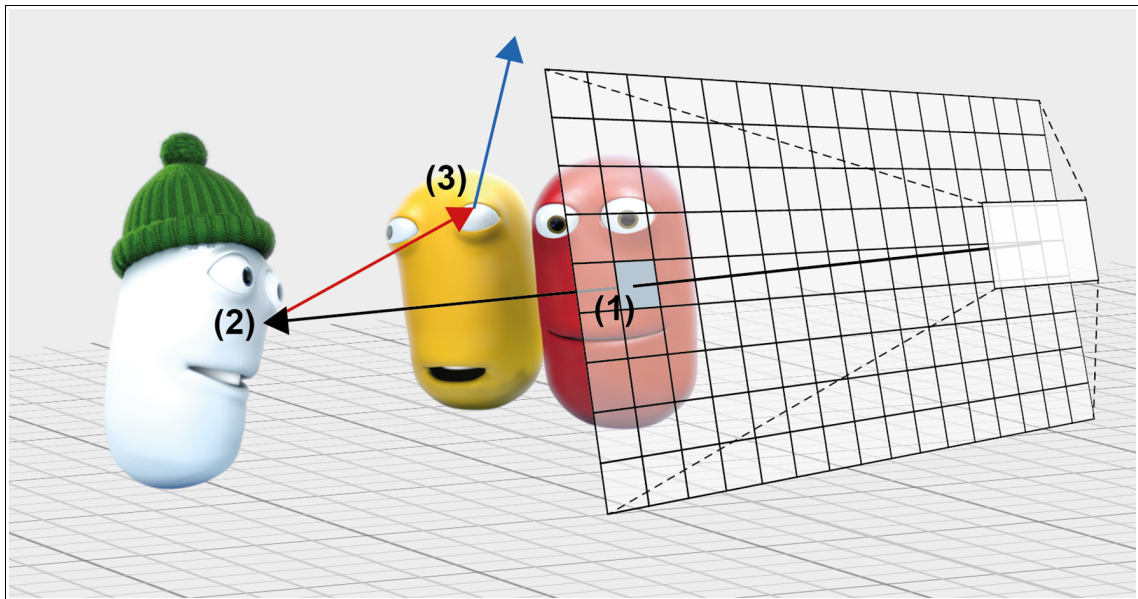


Abbildung 15: Simplifizierte Strahlenverfolgung nach dem Raytracing-Algorithmus

In Abb. 15 wird das Prinzip der Invertierung deutlich. Von jedem Pixel der aktiven Bildfläche (Abb. 15, 1) aus werden Rays (Abb. 15, schwarz) in die umgebende Welt gesendet und mögliche Überschneidungen von Objekten ermittelt. Durch Anti-Aliasing ist es möglich diese Pixel in weitere Punkte zu unterteilen und so mehr Rays als tatsächliche Pixel zu senden (s. 9.4 Anti-Aliasing und Auflösung). Sobald ein Strahl auf ein Objekt trifft, werden Farbe und Helligkeit des Schnittpunktes (Abb. 15, 2) durch die Angaben des Diffuse und Specular Shaders ermittelt. Weiterhin wird festgestellt, ob die Oberfläche Licht reflektiert oder bricht. Handelt es sich um eine reflektierende Oberfläche, wird ein Reflection Ray (Abb. 15, rot) zurückgeworfen. Trifft dieser auf ein weiteres Objekt (Abb. 15, 3), werden dessen Bildinformationen zu denen des Schnittpunktes je nach Reflexionseinstellungen hinzugefügt. Sollte dieses Objekt ebenfalls Licht reflektieren, wird die Strahlenverfolgung fortgeführt (Abb. 15, blau). Analog gilt dieser Vorgang für die Lichtbrechung (s. 7.4 Transparenz und Refraktion). Da es bei der Berechnung durch Raytracing in einer Szene mit vielen reflektierenden oder lichtbrechenden Objekten zu einer komplexen Strahlenverbreitung kommt, ist es sinnvoll eine Rekursionstiefe anzugeben, die eine Maximalanzahl an Schnittpunkten für einen Strahl vorgibt.

7.4 Transparenz und Refraktion

Ein Objekt kann durch Shader mit einer transparenten Oberfläche versehen werden. „Transparent materials are characterized by the fact that you can see through them to some degree.“¹¹⁸ An der Grenze zweier transparenter Medien erfährt die Richtung eines Lichtstrahls eine Änderung. Diese Erscheinung der Lichtbrechung wird als Refraktion¹¹⁹ bezeichnet. Refraktion ist demnach ein linsenähnlicher Verzerrungseffekt, der wie bei der Reflexion auf dem Prinzip des Raytracings beruht. Wie bei einer optischen Linse werden Strahlen je nach Form der Oberfläche (konvex oder konkav) gebündelt oder gestreut. Lediglich bei einem senkrechten Einfall des Lichtstrahls auf die Grenzfläche der beiden Medien erfolgt keine Richtungsänderung.¹²⁰ Neben der Form der Oberfläche und dem Lichteinfallswinkel bestimmt der Index Of Refraction (IOR)¹²¹ das Erscheinungsbild der Refraktion. Der IOR ist demnach das physikalische Maß für die Stärke der Brechung der Strahlen.¹²²

7.5 Subsurface Scattering

Neben reflektierenden und refraktiven Oberflächen gibt es eine weitere Besonderheit der Lichteinwirkung. Viele organische und einige anorganische Materialien sind an der Oberfläche zu einem bestimmten Grad lichtdurchlässig. Dieses sind im Groben alle nicht-metallischen Oberflächen. Dies hat zur Folge, dass auftreffendes Licht beim Aufprall nicht nur reflektiert oder absorbiert wird, sondern auch mit der Oberfläche interagiert.¹²³ Das Licht wird innerhalb der Oberfläche in unregelmäßigen Winkeln je nach Struktur gestreut, bis es entweder vollständig absorbiert wird oder an einer anderen Stelle, als es bei vollständiger Reflexion der Fall wäre, die Oberfläche wieder verlässt. Dieses Phänomen wird Subsurface Scattering (SSS)¹²⁴ genannt. SSS simuliert die Streuung des Lichts beim Treffen auf transluzente Materialien. Je weiter das Licht in das Material eindringen kann, desto größer ist der Grad der Absorption.¹²⁵ Um diesen

118 Dempksi et al., 2005: 76; dt.: „Transparente Materialien zeichnen sich durch den Fakt aus, dass man zu einem bestimmten Grad durch sie sehen kann.“

119 dt.: Strahlenbrechung, Lichtbrechung; Bed.: Brechung des Lichtes beim Durchqueren transparenter Medien

120 vgl. Dempski et al., 2005: 33

121 dt.: Brechungsindex; Bed.: Physikalischer Index für die Stärke der Brechung von Lichtstrahlen

122 vgl. Birn, 2006: 270

123 vgl. Birn, 2006: 150

124 dt.: Volumenstreuung; Bed.: Shading-Verfahren zur Simulation der Lichtstreuung in transluzenten Körpern

125 vgl. Birn, 2006: 151

Effekt zu simulieren, ist es wichtig, die Distanz des Lichteindringens in das Material zu berücksichtigen. Dabei kann das Licht die Farbe der inneren Struktur annehmen und blendet sich beim Austritt in die Reflexion.

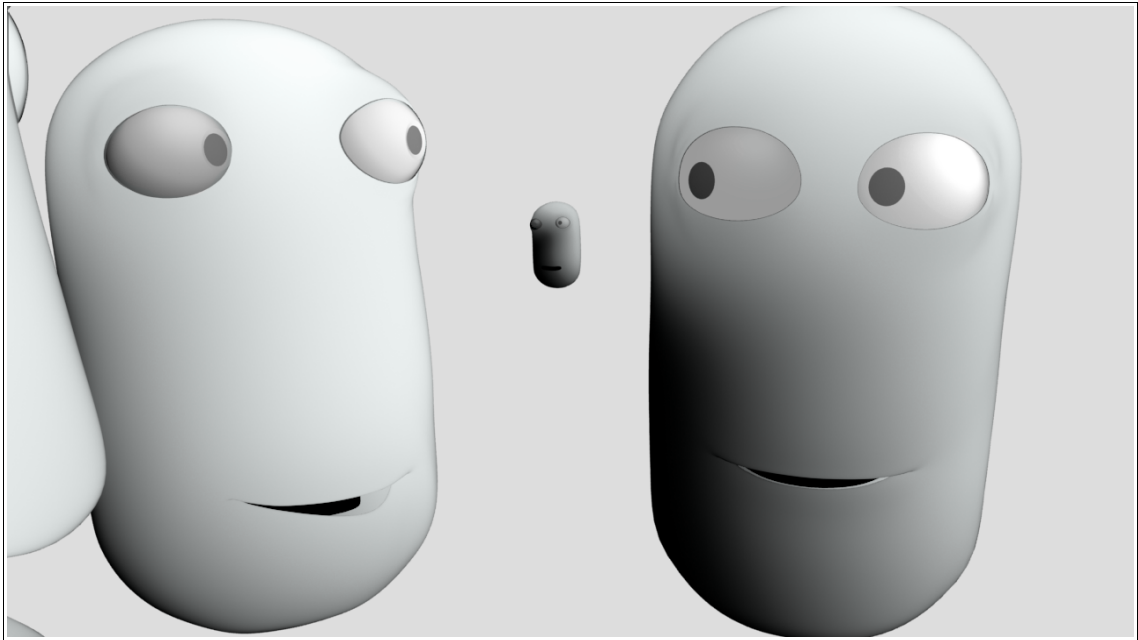


Abbildung 16: Isoliertes Subsurface Scattering der tic tac-Charaktere

Abb. 16 zeigt das isolierte Ergebnis durch SSS anhand der tic tac-Charaktere. In den meisten Fällen ist der Einsatz von SSS subtil und unauffällig. Gerade das Shading eines Charakters jedoch profitiert davon. Eine lebensechte Darstellung eines Charakters kann in einer dreidimensionalen Umgebung nicht ohne den Einsatz von SSS erreicht werden. So ist der Einsatz besonders beim realistischen Darstellen von Haut, Augen und Zähnen essentiell notwendig.

8 Lighting

8.1 Visuelle Intentionen der Lichtgestaltung

Das Lighting-Departement überträgt das Beleuchtungskonzept des Art-Departements auf die dreidimensionale Szene.¹²⁶ Vorangegangene Arbeitsschritte müssen ein finales Stadium erreicht haben, da die Arbeit des Lighting-Departements auf den Modellen, der Animation und der Ausrichtung der Kamera aufbaut. Verändert sich der Kamera-winkel und somit das Framing, die Geometrie eines Modells oder die Position der Modelle in der Szene, zieht dies auch eine Anpassung des gesamten Beleuchtungssetups nach sich.

Die Arbeit des Lighting-Departements umfasst unter anderem die Definition der dreidimensionalen Form der Charaktere. „*Some people call this process modeling with light, because it is your lighting that lets the viewer perceive an object's 3D form.*“¹²⁷ Die Beleuchtung einer Szene ist ausschlaggebend für ihre Glaubhaftigkeit.¹²⁸ Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob man Licht einsetzt, um nach physikalischen Gesetzen Beleuchtung der Realität zu imitieren oder Licht als dramaturgischen Aspekt zur Untermalung des künstlerischen Ausdrucks verwendet. Selbst wenn der Anspruch nicht auf dem Level einer photorealistischen Darstellung liegt, so muss die Balance der Parameter, wie z.B. Farbe, Intensität und Position einer Lichtquelle dennoch glaubhafte Beleuchtung vermitteln.¹²⁹ Lighting kann neben der physikalischen Berechnung auch als Lichtgestaltung umschrieben werden. Im Gegensatz zur bloßen Aufhellung der Szene können Bildbereiche akzentuiert werden oder in den Hintergrund treten. So kann das Auge des Betrachters auf Schlüsselemente der Szene gelenkt werden.¹³⁰

Um den Prozess des Beleuchtungsaufbaus weiterführend analysieren zu können, müssen zunächst die verfügbaren Werkzeuge zur Lichtgestaltung näher betrachtet werden.

¹²⁶ vgl. Parent, 2002: 17

¹²⁷ Birn, 2006: 9; dt.: „Einige Menschen nennen diesen Prozess Modellierung durch Licht, da es das Licht ist, welches den Betrachter die dreidimensionale Form eines Objektes wahrnehmen lässt.“

¹²⁸ vgl. Hullfish, 2008: 364

¹²⁹ vgl. Birn, 2006: 9

¹³⁰ vgl. Birn, 2006: 11

Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Arten von Lichtquellen im dreidimensionalen Raum in Zusammenhang mit ihrer Wirkung zu definieren.

8.2 Arten von Lichtquellen

Lichtquellen sind in ihrer Basis alle dadurch charakterisiert, dass sie Energie in Form von sichtbarem Licht in eine Szene bringen. Jede dieser Quellen addiert in einer bestimmten Zeit einen gewissen Wert an Energie zu dem betrachteten Objekt.¹³¹ Sie können im Allgemeinen durch die Parameter Intensität, Farbe und Größe beschrieben werden. Ein weiterer Parameter ist die Position der Lichtquelle und somit die Distanz zum Objekt. Die verschiedenen Beleuchtungskörper werden Lights¹³² genannt und basieren auf realen Beleuchtungsphänomenen. Verschiedene Lights weisen unterschiedliche Eigenschaften und somit Vor- und Nachteile auf. Ein großflächiges Light erzeugt beispielsweise ein diffuses, weiches Licht und bildet dadurch verhältnismäßig wenig Schatten und Plastizität. Kleine harte Glanzpunkte deuten dem gegenüber auf eine stark gebündelte Lichtquelle hin. Anhand dieser verschiedenen Charakteristiken können Lichtquellen nach ihrer Art kategorisiert werden.

Point Lights¹³³ sind die einfachste und abstrakteste Form von Lichtquellen im dreidimensionalen Raum. Sie verbreiten Strahlen gleichmäßig in alle Richtungen und können je nach Position den Schattenwurf beeinflussen.¹³⁴ Dabei handelt es sich um einen einfachen Punkt im Raum, der Energie in ein konstantes sphärisches Feld emittiert. Dieser Mittelpunkt enthält keine Größeninformationen und ist daher ein Punkt im mathematischen Sinne.¹³⁵ „*Ideal point lights do not exist in the real world. Every real light source has some amount of surface area and takes up some finite amount of space.*“¹³⁶ Die Energie, die auf das Objekt durch ein Point Light übertragen wird, ist von der Distanz zwischen Quelle und Objekt und vom Winkel der eintreffenden Lichtstrahlen abhängig.

Als Directional Light¹³⁷ wird eine Lichtquelle bezeichnet, die aus einer bestimmten Richtung auf die Szene strahlt. Directional Light wird hauptsächlich zur Imitation entfernter

131 vgl. Dempski et al., 2005: 9

132 dt.: Licht, Beleuchtungskörper; Bed.: Grundbezeichnung einer digitalen Lichtquelle im dreidimensionalen Raum

133 dt.: Punktlichtquelle; Bed.: Einfachste Lichtquelle im dreidimensionalen Raum ohne Größe

134 vgl. Chopine, 2011: 184

135 vgl. Dempski et al., 2005: 10

136 Dempski et al., 2005: 17; dt.: „Ideale Punktlichtquellen existieren in der Realität nicht. Jede reale Lichtquelle besitzt eine gewisse Oberfläche und nimmt einen begrenzten Wert an Raum ein.“

Lichtquellen (z.B. Sonne) eingesetzt, da jedes Objekt der Szene aus dem gleichen Winkel beleuchtet wird. Durch die parallele Ausrichtung der Strahlen fallen ebenfalls alle Schatten gleich.¹³⁸ Die Idee der gerichteten Lichtverbreitung vereinfacht die Berechnung von Directional Light, da die zu berechnende Lichtenergie nicht von verschiedenen Winkeln abhängig ist. Weiterhin verändert sich die Energie über die Distanz nicht. Unabhängig von seiner Distanz zur Lichtquelle, wird jedes Element der Szene mit der gleichen Intensität beleuchtet.¹³⁹ Durch diese Vereinfachung entspricht ein Directional Light aber in speziellen Fällen nicht dem gewünschten Qualitätsanspruch.

Spotlights¹⁴⁰ sind die gebräuchlichste Form der Lichtquellen bei der Erstellung von CG, da sie in komplexer Form kontrolliert und ausgerichtet werden können.¹⁴¹ Obwohl ein Spotlight wie ein Point Light keine Größe besitzt, strahlt ein Spotlight nicht in alle Richtungen, sondern erzeugt einen Lichtkegel, der je nach Rotation der Quelle die gewünschte Ausrichtung erhält.¹⁴² Dieser Lichtkegel kann verstärkt und absorbiert werden, durch virtuelle Verschlussklappen weiter eingegrenzt werden oder durch Setzen eines Penumbra¹⁴³-Werts weiche Umrisse durch die Visualisierung von Halbschatten erhalten.

Wird die Lichtquelle als Fläche interpretiert, spricht man von einem Area Light¹⁴⁴. Im Vergleich zu Point- oder Spotlights besitzt diese Quelle eine feste physikalische Größe. Durch Skalierung eines Area Lights können somit unterschiedliche Charakteristiken erzeugt werden. Mit zunehmender Größe erscheint die Beleuchtung einer Szene beispielsweise diffuser, wodurch sich weichere Schatten ergeben. Die Strahlen agieren dabei abstrahiert wie bei einer Ansammlung mehrerer Spotlights. Dieser komplexe Aufbau ermöglicht einen hohen Realitätsanspruch, macht das Area Light jedoch zum rechenaufwendigsten Modell der Lichtarten, da die Strahlen mehrerer Punkte der Fläche berücksichtigt werden müssen.¹⁴⁵ Viele Artists ziehen aufgrund des hohen Rechenauf-

137 dt.: Richtungslichtquelle, gerichtete Lichtquelle; Bed.: Lichtquelle zur Aussendung paralleler Strahlen aus einem bestimmten Winkel in einer dreidimensionalen Umgebung

138 vgl. Dempski et al., 2005: 15

139 vgl. Boughen, 2005: 87

140 dt.: Positionslichtquelle; Bed.: Lichtquelle im dreidimensionalen Raum mit multiplen Einstellungsmöglichkeiten

141 vgl. Boughen, 2005: 91

142 vgl. Dempski et al., 2005: 21

143 dt.: Halbschatten; Bed.: Halbschatten eines Spotlights zur Imitation weicher Schattenkanten

144 dt.: Flächenlichtquelle; Bed.: Lichtquelle mit bestimmter Größe in einer dreidimensionalen Umgebung

145 vgl. Chopine, 2011: 185

wands daher eine Kombination aus Point- und Spotlights dem rechenintensiven Einsatz von Area Lights vor.

8.3 Local und Global Illumination im Vergleich

Das Prinzip der Local Illumination (LI)¹⁴⁶ kennzeichnet die Beziehung eines Körpers zu dem einwirkenden Licht. Dabei werden lediglich die direkte Interaktion und somit nur die Energiebeträge berücksichtigt, die unmittelbar das Objekt beeinflussen. Der Einfluss umgebender Geometrien wird ignoriert, so dass jedes Element der Szene bei der Berechnung durch ein lokales Beleuchtungsmodell bestrahlt wird, als gäbe es keine umliegenden Elemente. Diese idealisierte Form ist fernab von jeglichem Realitätsanspruch. „*This [...] is not very realistic, and your eyes tell you that the lighting isn't correct.*“¹⁴⁷ In der Praxis trägt auch das Licht, welches nicht direkt auf ein Objekt trifft, zu seiner Beleuchtung bei, indem es von umgebenden Elementen zurückgeworfen wird. Jeder Algorithmus, der in seiner Beleuchtungsberechnung die Wechselwirkung von Licht bei der Reflexion zwischen Oberflächen und somit indirektes Licht mit einbezieht, beruht auf dem Prinzip der Global Illumination (GI)¹⁴⁸. Die Simulation der Ausbreitung der Lichtstrahlen erfolgt dabei ausgehend von den vorhandenen Lichtquellen automatisiert durch die Software. Dabei wird das gesamte Spektrum der Strahlen einer Szene betrachtet. Dies erfolgt unter Einhaltung der Gesetze der Optik und der Energieerhaltung. GI ist durch diese physikalische Korrektheit essentiell komplexer als LI, so dass fotorealistische Darstellungen erzeugt werden können. Durch den Einsatz von GI ist es möglich, spezifische Lichtphänomene der Realität nachzubilden. Dieses ist zum Beispiel das Auftreten von Color Bleeding¹⁴⁹, welches das Farbauslaufen bei der Reflexion von Licht an verschiedenfarbigen Flächen beschreibt.¹⁵⁰

146 dt.: Lokale Beleuchtung; Bed.: Beleuchtungsmodell zur Simulation der direkten Interaktion von Licht auf einen Körper

147 Dempksi et al., 2005: 25

148 dt.: Globale Beleuchtung; Bed.: Beleuchtungsmodell zur Simulation der Licht-Wechselwirkungen von Objekten unter Berücksichtigung des indirekten Lichts

149 dt.: Farbauslaufen; Bed.: Lichtphänomen, bei dem Oberflächen durch Lichtreflexion die Farbe benachbarter Oberflächen annehmen

150 vgl. Ardito, 2010: 662



Abbildung 17: Color Bleeding auf der Charakteroberfläche

Betrachtet man Abb. 17, ist dieses Farbauslaufen in der Vergrößerung der Übergangspartie von Mütze und Charakteroberfläche zu erkennen. In den Bereichen, in denen Licht von der Mütze auf die Oberfläche des Charakters zurückgeworfen wird, strömt ebenfalls die grüne Färbung über. Das Color Bleeding ist dabei sehr dezent, unterstützt jedoch den qualitativen Gesamteindruck enorm. Eine weitere Sondererscheinung, die durch den Einsatz von GI simuliert werden kann, ist beispielsweise das Auftreten von Kaustiken, welche Lichtbündelungen durch Prismen oder schimmernde Wasserreflexionen sind.

8.4 Analyse des Beleuchtungsaufbaus

Bei der Ausleuchtung der tic tac-Szene wird der Schwerpunkt nicht primär auf die Imitation eines realen Ambientes gesetzt. Vielmehr soll eine einladende und freundliche Stimmung geschaffen werden, die der einer diffusen Außenbeleuchtung gleicht. Grundsätzlich gilt nach BIRN (2006: 8): „*Achieving the visual goals of good lighting design is an artistic process.*”¹⁵¹

Darüber hinaus dient das Licht der Akzentuierung der drei Hauptcharaktere. Hierzu wird sich dem Prinzip der Dreipunkt-Beleuchtung bedient, welches der Portrait-Foto-

¹⁵¹ Birn, 2006: 8; dt.: „Die visuellen Ziele von gutem Beleuchtungsdesign zu erreichen, ist ein kreativer Prozess.“

grafie entstammt und die klassischste und populärste Form der Charakter-Beleuchtung darstellt.

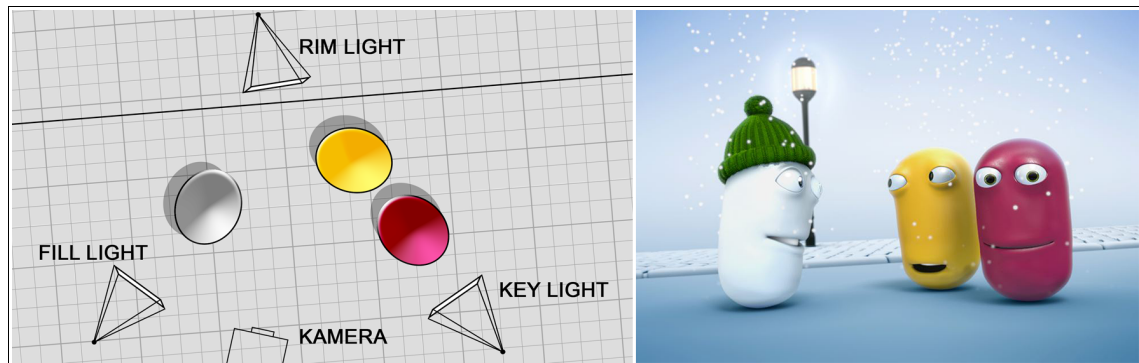


Abbildung 18: Aufbau und Wirkung der Dreipunkt-Beleuchtung der tic tac-Szene

In Abb. 18 sind der schematische Aufbau der Dreipunkt-Beleuchtung der tic tac-Szene (Abb. 18, linkes Bild) und der Einfluss auf das finale Bild (Abb. 18, rechtes Bild) dargestellt. Dieses Prinzip beinhaltet die Positionierung von drei Lichtquellen (Spotlights) an prägnanten Positionen. „The three 'points' in three-point lighting are actually three roles that light can play in a scene, each serving a specific purpose.“¹⁵² Die erste Position besetzt das Key Light¹⁵³, welches vor den Charakteren platziert wird. Dabei sollte der Winkel der Strahlung nicht identisch zum Kamerawinkel sein, sondern durch einen Versatz die Form der Figuren durch Schatten und helle Lichtpunkte definieren. Weiterhin wird darauf geachtet, dass sich die Lichtquelle oberhalb der Augenlinie befindet, da Licht, welches von unten auf einen Charakter trifft, Schatten erzeugt, die bedrohlich wirken und kontraproduktiv für die Stimmung der Szene sind.

Die Positionierung des Key Lights ist eines der wichtigsten Kriterien für die Wirkung eines Beleuchtungssetups, da es die hellste Lichtquelle der Szene ist und damit verantwortlich für die Hauptrichtung und die Richtung der dominierenden Schatten.¹⁵⁴

Hinter den Charakteren wird ein weiteres Spotlight arrangiert, welches die Funktion des Rim Lights¹⁵⁵ einnimmt. Dieses zeichnet eine Definitionskante, welche als dünne Lichtlinie an den Konturen zu erkennen ist. Das hat zur Folge, dass sich die Charaktere ver-

¹⁵² Birn, 2006: 131; dt.: „Die drei 'Punkte' der Dreipunkt-Beleuchtung stehen stellvertretend für drei Rollen, die die Lichtquellen in der Szene spielen. Jeder dieser Rollen beabsichtigt einen spezifischen Zweck.“

¹⁵³ dt.: Hauptlicht, Schlüssellicht; Bed.: Hauptlichtquelle des Prinzips der Dreipunktbeleuchtung zur Festsetzung der Lichtrichtung und der vorherrschenden Schatten

¹⁵⁴ vgl. Chopine, 2011: 181

¹⁵⁵ dt.: Konturlicht; Bed.: Lichtquelle des Prinzips der Dreipunktbeleuchtung zur Definition von Objektkonturen

stärkt vom Hintergrund abheben.¹⁵⁶ Weiterhin gewinnen feine Strukturen der Oberfläche wie die abstehenden Fasern der Wollmütze an Detail.

Dem dritten Spotlight obliegt die Aufgabe des Fill Lights¹⁵⁷. Es dient als Gegenstück zum Key Light und hellt die Bereiche der Charaktere auf, die nicht von den Strahlen des Key Lights erreicht werden. Aus diesem Grund findet diese Lichtquelle seinen Platz auf der entgegengesetzten Seite. Das Verhältnis der Intensitäten von Key und Fill Light setzt den Kontrast der Charaktere fest und wird als Key-to-Fill-Ratio¹⁵⁸ bezeichnet.¹⁵⁹

Durch die Verwendung des Prinzips der Dreipunkt-Beleuchtung lässt sich demnach eine ästhetische Beleuchtung der Charaktere unter verhältnismäßig geringem Arbeitsaufwand effizient umsetzen. Zu diesem Lichtaufbau addiert sich das Umgebungslicht der Szene. Dieses kann in der 3D-Software durch Ambient Light¹⁶⁰ simuliert werden. Ambient Light zerstört jedoch in seiner Grundform das Plastizitätsempfinden von Objekten, da es sich um eine ausschließlich gradlinige Aufhellung aller Elemente der Szene handelt. DEMPSKI et al. (2005: 26) beschreiben das Problem wie folgt: „*The problem is that it increases the brightness of everything in the scene, which can wash out detail.*“¹⁶¹ BIRN (2006: 27) bestätigt dieses: „*Ambient light flattens the scene and robs it of richness and shading.*“¹⁶² Auf anderem Wege kann das Umgebungslicht durch den Einsatz von GI gewonnen werden. Dieses wird den Qualitätsanforderungen zwar gerecht, hat sich jedoch in den Vorbetrachtungen als überaus rechenintensiv herausgestellt (s. 8.3 Local und Global Illumination im Vergleich). Um den weiteren Produktionsablauf durch die Berechnung von GI nicht gravierend zu verlangsamen, muss demnach durch eine alternative Lichtkonstruktion Abhilfe geschaffen werden.

Dazu wird die gesamte tic tac-Szene von einer Environment Sphere¹⁶³ ummantelt. Das ist ein kugelförmiges Area Light und versorgt durch Aussendung von Strahlen aus jedem Punkt der Kugel die gesamte Szene mit Licht. Durch den Einsatz einer Environ-

156 vgl. Boughen, 2005: 66

157 dt.: Fülllicht; Bed.: Lichtquelle des Prinzips der Dreipunktbeleuchtung zur Aufhellung markanter Schatten des Key Lights

158 dt.: Haupt-Füll-Verhältnis; Bed.: Verhältnis der Intensität von Key Light und Fill Light

159 vgl. Birn, 2006: 136

160 dt.: Ambientes Licht; Bed.: Lichtquelle zur Simulation des Umgebungslichts in einer dreidimensionalen Umgebung

161 DempSKI et al., 2005: 26

162 Birn, 2006: 27; dt.: „Ambient Light flacht eine Szene ab und raubt ihr Brillanz und Schattierung.“

163 dt.: Umgebungskugel, Umgebungshülle; Syn.: Sky Dome; Bed.: Um die dreidimensionale Szene gehüllte Kugel zur Gewinnung des Umgebungslichts durch Raytracing

ment Sphere als Lichtquelle kann somit das Umgebungslicht einer realen Außenumgebung inklusive aller auftretenden Schatten simuliert werden ohne die Elemente abzuflachen.¹⁶⁴ Je nach Einstellung kann die Intensität und Anzahl der ausgesandten Lichtstrahlen variieren und so an den bestehenden Lichtaufbau unter enormer Zeitersparnis im Vergleich zu vollkommenen GI-Berechnung angepasst werden.

Der Einsatz der Environment Sphere bietet einen weiteren entscheidenden Vorteil beim Zusammenspiel mit dem Shading-Departement. Um realistische Spiegelungen durch das Raytrace-Verfahren zu erhalten, müssen umgebende Objekte in der Szene vorhanden sein, auf die die Reflexionsstrahlen treffen (s. 7.3 Raytracing). Wenn ein spiegelndes Objekt lediglich von leerem Raum umhüllt wäre, würden demnach keine Reflexionen auftreten. Da die tic tac-Szene keine vollständig modellierte Umgebung enthält, wird für die Spiegelungen eine Reflection Map¹⁶⁵ verwendet. „*A reflection map is an image of what you want reflected. It's a great way to get a sky or ceiling, or a window that is behind camera.*“¹⁶⁶ Da durch die Environment Sphere bereits ein umhüllendes Element existiert, kann diese als Träger der Reflection Map dienen. Es ist demnach das Aufspannen einer Fotografie auf das sphärische Objekt. Die durch das Raytracing erzeugten Reflexionen der Reflection Map weisen jedoch ein scharfkantiges Erscheinungsbild auf. Um ein natürlicheres Aussehen zu erhalten, können diese Reflexionen im Shader durch Angabe eines Gloss¹⁶⁷-Parameters geglättet werden. Da dieses mit einem hohen Rechenaufwand einhergeht, wird für den tic tac-Spot auf das Hinzufügen eines Gloss-Parameters verzichtet. Um dennoch weiche Reflexionen zu erhalten, wird die gesamte Reflection Map vor dem Aufspannen auf die Environment Sphere in einem externen Bildbearbeitungsprogramm mit Unschärfe versehen.

¹⁶⁴ vgl. Birn, 2006: 27

¹⁶⁵ dt.: Reflexionsabbildung; Syn.: Environment Map; Bed.: Abbildung der Umgebung des spiegelnden Objekts als Bilddatei

¹⁶⁶ Chopine, 2011: 171

¹⁶⁷ dt.: Glanz, Glasur; Bed.: Shader-Einstellung zur Festsetzung des Reflexionsschärfe

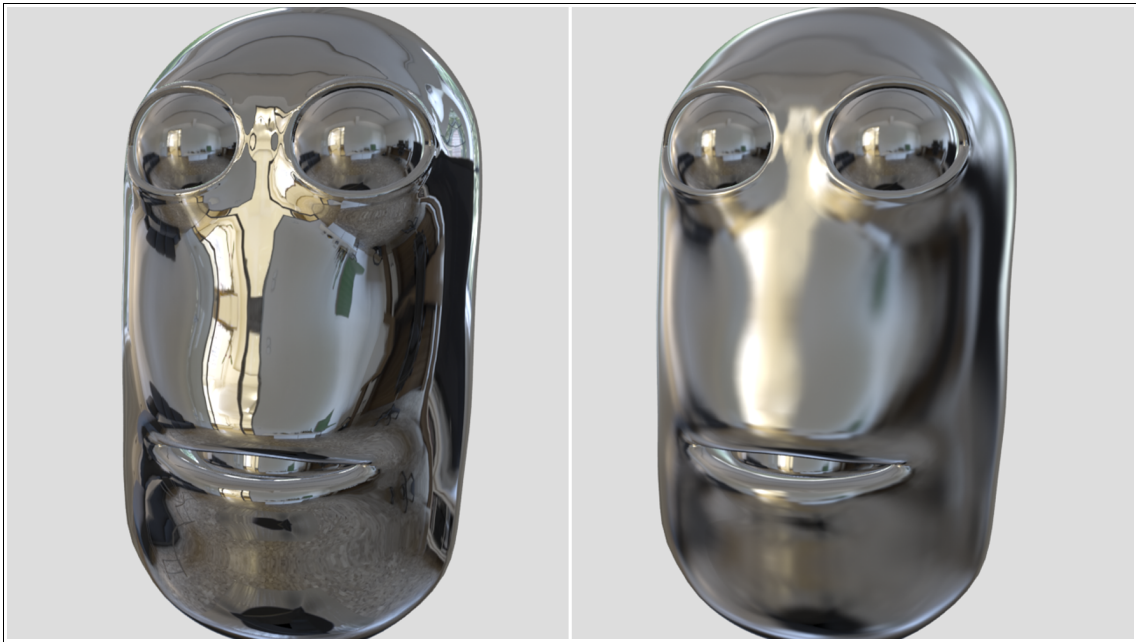


Abbildung 19: Unscharfe Reflexionen durch Weichzeichnen der Reflection Map

Abb. 19 zeigt die Ergebnisse der Reflexion der Reflection Map vor (Abb. 19, linkes Bild) und nach (Abb. 19, rechtes Bild) dem externen Weichzeichnen. Natürliche, weiche Reflexionen lassen sich so simulieren, ohne dabei hohe Geschwindigkeitseinbußen durch Gloss-Berechnungen in Kauf nehmen zu müssen.

8.5 Ambient Occlusion

Um das Shading der Objekte weiterführend zu verbessern, wird Ambient Occlusion (AO)¹⁶⁸ als erweiterte Raytracing-Berechnung eingesetzt. AO ist ein Verfahren, um Bereiche abzudunkeln, die von anderen Flächen verdeckt werden. „[...] *generally in real life surfaces that are close together will be darker than surfaces that don't have anything in front of them.*“¹⁶⁹ Dieses sind Ecken, an denen verschiedene Flächen aufeinander treffen oder markante Vertiefungen der Geometrie eines Meshs.

Der Begriff Occlusion bezeichnet in seinem Grundsatz das Blockieren von Licht. Jeder Schatten der Szene stellt demnach eine Form von Occlusion dar.¹⁷⁰ Im Sprachgebrauch hat sich der Begriff jedoch als Synonym für AO durchgesetzt. Die verdunkelten durch AO erzeugten Bereiche sind klar von anderen Schatten der Szene zu trennen.

¹⁶⁸ dt.: Umgebungsverdeckung; Bed.: Physikalisch nicht korrekte Methode der Computergrafik zur realistischen Verschattung von Szenen mit geringer Renderzeit

¹⁶⁹ vgl. Ardito, 2010: 678

¹⁷⁰ vgl. Birn, 2006: 73

Während beispielsweise die Schatten eines Key Lights gerichtet und somit abhängig von der Position der Lichtquelle berechnet werden, ist die Verdunklung durch AO unabhängig von jeglichen Lichtquellen des Setups. Eine Umsortierung hat demnach keinen Einfluss auf die Berechnung. Das beruht auf der Tatsache, dass nicht die Lichtquellen sondern die Punkte der Geometrie Ausgangspunkt der Strahlen sind. Eine Verschattung nach diesem Prinzip kann demnach selbst ohne verfügbare Lichtquellen berechnet werden.¹⁷¹

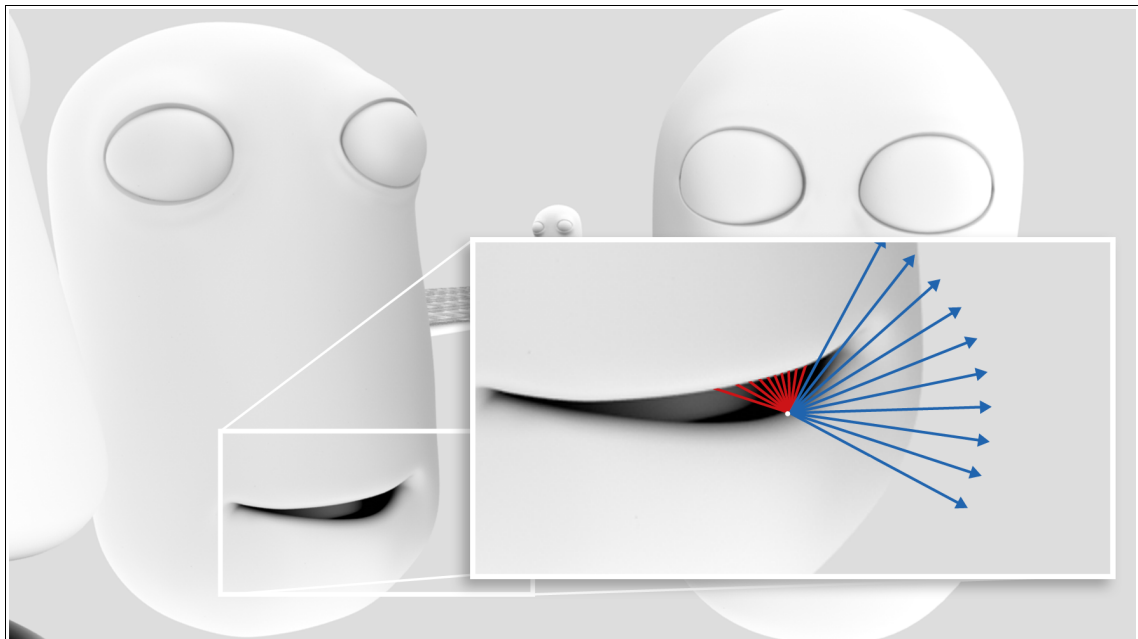


Abbildung 20: Isolierte Darstellung und Sampling von Ambient Occlusion

Abb. 20 zeigt die Funktionsweise von AO am Beispiel der tic tac-Charaktere. Von jedem sichtbaren Punkt der Oberfläche werden Strahlen stichprobenartig ausgesandt. Kollidiert ein Strahl mit anderer Geometrie der Szene (Abb. 20, rot), trägt er zur Verdunklung des Punktes bei. Strahlen, deren Pfad nicht unterbrochen wird (Abb. 20, blau), enden im leeren Raum und beleuchten den Punkt.¹⁷² Simplifiziert erzeugen demnach ein freier Strahl Licht und ein Kollisionsstrahl Schatten. Wie stark ein Punkt verdunkelt wird, hängt also vom Verhältnis zwischen der Anzahl der ausgesandten Strahlen (Abb. 20, rot und blau) und der Anzahl der Strahlen, die den leeren Raum nicht erreichen (Abb. 20, rot), ab. Um den leeren Raum zu definieren, wird bei der Berechnung von AO ein halbkugelförmiger Bereich um die Szene abstrahiert, weshalb das Prinzip

¹⁷¹ vgl. Ardito, 2010: 678

¹⁷² vgl. Chopine, 2011: 146

auch als Hemispheric Sampling¹⁷³ umschrieben wird.¹⁷⁴ Die maximale Distanz für die Verfolgung der Strahlen kann dabei wie beim herkömmlichen Raytracing-Verfahren eingeschränkt werden, so dass lediglich in der Nähe befindliche Geometrien die Oberfläche verdunkeln. Besonders Risse, Ecken und Kontaktpunkte profitieren so durch die hohe Dichte an umgebender Geometrie von der durch AO erzeugten Verschattung. Deshalb ist AO auch unter dem Synonym „Dirt Shader“¹⁷⁵ bekannt.

Durch den Fakt, dass es sich bei der Berechnung der Ausleuchtung lediglich um einen auf Näherungswerten beruhenden Trick handelt und keine akkurate Berücksichtigung indirekter Lichtreflexionen erfolgt, unterliegt das Verfahren keiner physikalischen Korrektheit.¹⁷⁶ Der Vorteil für den Workflow der Produktion liegt jedoch in der Geschwindigkeit des Verfahrens. „*Because ambient occlusion doesn't need to calculate the shaders or lighting on other surfaces, it is a faster, simpler process than full global illumination.*“¹⁷⁷ AO besticht demnach durch seinen geringen Rechenaufwand. Im Vergleich zu GI kann in einem Bruchteil der Zeit eine großflächige Verschattung der Szene erzielt werden.

173 dt.: Halbkugelförmige Probenahme; Bed.: Punktuelle Abtastung eines halbkugelförmigen Bereichs

174 vgl. Ardito, 2010: 678

175 dt.: Verschmutzungs-Schattierer; Bed.: Umgangssprachliches Synonym für Ambient Occlusion

176 vgl. Ardito, 2010: 678

177 Birn, 2006: 120; dt.: „Da bei der Berechnung von AO die Schattierung und Beleuchtung anderer Oberflächen nicht berücksichtigt wird, ist dies ein schnellerer und einfacherer Prozess als die Berechnung durch vollständige GI.“

9 Rendering und Compositing

9.1 Definition

Rendern ist der Arbeitsschritt, bei dem aus den sichtbaren Elementen der gefertigten 3D-Szene ein pixel-basiertes zweidimensionales Bild generiert wird.¹⁷⁸ Dieses kann mit dem Fotografieren oder Filmen eines realen Objektaufbaus verglichen werden. Die Auflösung ist dabei Maß für die Bildgröße und wird durch die Angabe der Anzahl der Bildpunkte in Breite und Höhe definiert. Obwohl die Voraussetzungen an das finale Rendering während des gesamten kreativen Prozesses durch temporäre Renderings berücksichtigt werden müssen, kann es als finaler Schritt bei der Arbeit des 3D-Departements gesehen werden.¹⁷⁹ Alle Eigenschaften der Szene wie Geometrie, Shading und Beleuchtung werden zusammengefasst. An dieser Stelle wird weiterhin eine Vielzahl an erweiterten Optionen berücksichtigt, um das bestmögliche Endergebnis zu erstellen (s. 9.4 Anti-Aliasing und Auflösung). Die Ansprüche, die an das Rendering der Bilder gestellt werden, hängen vom weiteren Verarbeitungsprozess im Compositing ab. Um die Funktionsweise des Render-Prozesses nachvollziehen zu können, muss demnach zunächst das Aufgabengebiet des Compositing-Departements definiert werden.

9.2 Compositing

Das Compositing beschreibt im Allgemeinen die Verbindung visueller Elemente verschiedener Quellen zu einem Gesamtbild. BRINKMANN beschreibt das digitale Compositing folgendermaßen: „*The digitally manipulated combination of at least two source images to produce an integrated result.*“¹⁸⁰ Diese Quellen sind verschiedene Elemente, die durch das 3D-Departement generiert wurden (s. 9.5 Render-Layer und Render-Passes). Neben der reinen Zusammensetzung und Verblendung der einzelnen Bestandteile umfasst die Arbeit des Compositing-Departements die Veredelung des Films, um eine natürliche Einheit zu erzeugen. Somit ist es als abschließender Arbeitsschritt

¹⁷⁸ vgl. Chopine, 2011: 219

¹⁷⁹ vgl. Chopine, 2011: 219

¹⁸⁰ Brinkmann, 2008: 2; dt.: „Die digital bearbeitete Kombination von mindestens zwei Quellbildern zur Erzeugung eines ganzheitlichen Ergebnisses.“

der gesamten Produktion zu verstehen. „*If it smells like fish, it is not good fish. A similar principle applies in computer graphics: If it looks like computer graphics, it is not good computer graphics.*“¹⁸¹ Nach BIRN (2006: 15) bestechen computergenerierte Filme im unbehandelten Zustand durch ein unnatürliches Erscheinungsbild. Durch das Compositing müssen demnach die einzelnen Attribute der 3D-Renderings wie Farbe, Beleuchtung etc. so aufeinander ausbalanciert werden, dass sich ein harmonischer Look ergibt. Farbkorrekturen der gesamten Szene, das Hinzufügen von Filmkörnung und das Weichzeichnen harter Kanten unterstützen dieses.¹⁸² Weiterhin werden durch das Compositing-Departement Details hinzugefügt, die der Szene mehr Leben verleihen. Dieses sind z.B. weitere Schatten, Akzentuierungen und Staub. Weiterhin umfasst das Aufgabengebiet eines Compositors den Bereich der Retouche^{183, 184}. So können fehlerhafte Bildpunkte der 3D-Renderings beseitigt oder ganze Elemente entfernt werden, die das Gesamtbild der Szene mildern. Es bedeutet eine enorme Zeitersparnis, Änderungen am Film direkt im Compositing durchzuführen, ohne erneut Renderings des 3D-Departements anzufordern.¹⁸⁵ Im Folgenden analysiere ich die Voraussetzungen und Möglichkeiten des 3D-Departements, den Render-Vorgang im Hinblick auf die weitere Verarbeitung im Compositing zu optimieren.

9.3 Farbtiefe und Dateiformat

Die Auswahl der Farbtiefe besitzt hohe Relevanz für die Qualität des gerenderten Bildes. Ein Bild setzt sich aus drei Farbkanälen zusammen. Diese enthalten Informationen über die Rot-, Grün-, und Blauwerte. Sie werden auch RGB-Kanäle genannt. Dabei unterscheiden sich die verschiedenen Ausgabeformate in Genauigkeit und Speicher, der für die Informationen in den einzelnen Kanälen reserviert ist.¹⁸⁶ Pro Farbkanal können hierbei 8, 16 oder 32 bit für die Speicherung zur Verfügung stehen.

8 bit-Bilder bieten 256 (2^8) mögliche Abstufungen pro Kanal, welches einem Wert von 0 bis 255 entspricht. Viele Produktionen beschränken sich bei ihren 3D-Renderings wegen des geringen Speicherbedarfs auf 8 bit-Bilder, da die Kombination der 3 Farbkanäle

181 Birn, 2006: 15; dt.: „Wenn es nach Fisch riecht, ist es kein guter Fisch. Ein ähnliches Prinzip gilt in der Computergrafik: Wenn es wie Computergrafik aussieht, ist es keine gute Computergrafik.“

182 vgl. Birn, 2006: 394

183 dt.: Retusche, Nachbesserung; Bed.: Compositing-Technik zur Ausbesserung und nachträglichen Veränderung von Bilddaten

184 vgl. Chopine, 2011: 227

185 vgl. Brinkmann, 2008: 436

186 vgl. Brinkmann, 2008: 60

le über 16 Millionen (2^{24}) mögliche Farben umfasst und dies für viele Projekte ausreichend ist.¹⁸⁷ 16 bit-Bilder verbrauchen den doppelten Speicherplatz, erlauben aber ein Vielfaches der 256 Zwischentöne. So ergeben sich 65536 (2^{16}) Farbtönungen für jeden Farbkanal. Das sind 281 Billionen mögliche Farbkombinationen. Obwohl für das menschliche Auge Tonwerte mit 256 Abstufungen bereits nahtlos ineinander überfließen, ist der Einsatz von 16 bit-Bildern für die weitere Bearbeitung sinnvoll, da genauere Anpassungen im Compositing möglich sind. Helligkeits- oder gravierende Farbanpassungen sind dadurch ohne das Auftreten von sichtbaren Bildstörungen durchführbar. Bilddaten, die 32 bit für die Informationen eines Farbkanals reservieren, besitzen eine Spanne von 4294967296 (2^{32}) möglichen Farbabstufungen. Des Weiteren haben sie den Vorteil, dass sie Helligkeitswerte jenseits des darstellbaren Bereichs speichern können. Durch den hohen Kontrastumfang werden 32 bit-Bilder auch als High Dynamic Range Images (HDRI)¹⁸⁸ bezeichnet. Das Rendern eines solchen Bildes benötigt den vierfachen Speicherbedarf eines 8 bit-Bildes. Zur Verdeutlichung des Kontrastumfangs wird der dunkelste Wert, der auf einem Monitor darstellbar ist, mit „0“ und der hellsten Wert mit „1“ gleich gesetzt (0 = pures Schwarz, 1 = pures Weiss). Durch die Aufrüstung eines Renderings von 8 auf 16 bit erhöhen sich lediglich die Abstufungen innerhalb dieser Grenzen. Durch das Rendern eines HDRIs hingegen vergrößert sich nicht nur die Spanne der möglichen Farbabstufungen, sondern es können auch Werte gespeichert werden, die größer als 1 sind und damit heller als pures Weiß. Analog dazu können Werte unter 0 gespeichert werden. Diese Werte werden Floating-Point-Value¹⁸⁹ genannt. Hierdurch wird eine immense Flexibilität für die Anpassungen im Compositing erreicht. Selbst überbelichtete helle Bereiche können so durch Verdunkelung wieder Bildinformationen offenbaren, die im eigentlichen Rendering nicht sichtbar sind.¹⁹⁰ Ebenso können dunkle Schatten aufgehellt werden und weitere Details enthüllen. Um im Compositing auf den hohen Dynamikumfang zurückgreifen zu können, werden die gerenderten Bilder des tic tac-Spots mit einer Farbtiefe von 32 bit erstellt.

Das Dateiformat ist ein Begriff der digitalen Datenverarbeitung und legt fest, wie Daten zu interpretieren sind. Nur wenige Dateiformate von Bilddateien können einen 32 bit Farbumfang überhaupt verlustfrei speichern. So sind JPEG¹⁹¹-Dateien beispielsweise

187 vgl. Brinkmann, 2008: 63;

188 dt.: Hochkontrastbild; Bed.: Bild mit hohem Dynamikumfang durch detailreiche Speicherung großer Helligkeitsunterschiede

189 dt.: Gleitkommazahl, Fließkommazahl; Bed.: Approximative Darstellung einer reellen Zahl

190 vgl. Hullfish, 2008: 242

191 Joint Photographic Experts Group; Bed.: Methode der Bildkompression

durch 8 bit je Farbkanal limitiert. Für die Speicherung wird daher das OpenEXR-Format von INDUSTRIAL LIGHT AND MAGIC verwendet, welches Farbinformationen von 16 bis 32 bit zulässt und damit ein HDR-Grafikformat darstellt. Weiterführende Informationen lassen sich der Dokumentation TECHNICAL INTRODUCTION TO OPENEXR entnehmen, welche im Literaturverzeichnis aufgeführt ist.

9.4 Anti-Aliasing und Auflösung

Eines der bedeutendsten Probleme, welches beim Rendern eines 3D-Setups auftreten kann, ist das Erscheinen von kantigen Treppenbildungen, Flimmern der Animation oder Bildrauschen.¹⁹² Diese Bildfehler werden Artefakte genannt und als Aliasing¹⁹³ definiert.

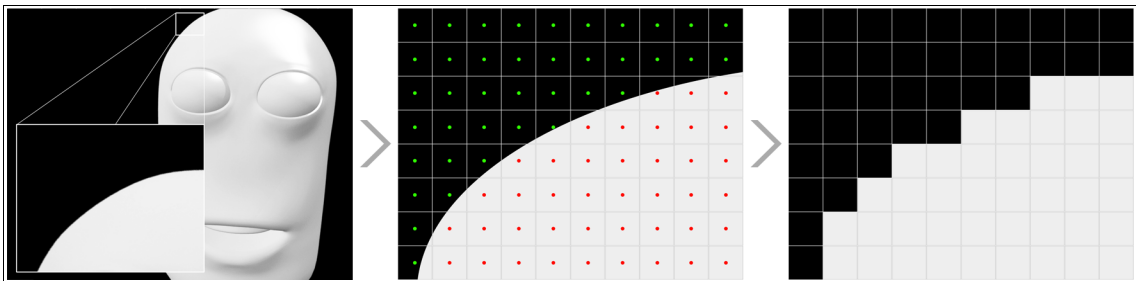


Abbildung 21: Bildabtastung mit einem Sample-Punkt je Pixel

In Abb. 21 wird die Entstehung dieser Artefakte verdeutlicht. Betrachtet wird der Ausschnitt eines tic tac-Charakters von 10x8px. Um den Sachverhalt zu abstrahieren, werden die Polygone des Charakters als einheitlich graue Fläche und der Hintergrund schwarz dargestellt (Abb. 21, linkes Bild). Für die Erstellung des zweidimensionalen Bildes werden die Farb- und Kontrastwerte jedes Pixels anhand von Samples¹⁹⁴ gewonnen. Dieses sind Punkte an denen das 3D-Setup abgetastet wird. In der Grundform des Samplings¹⁹⁵ liefert der Mittelpunkt stellvertretend für das gesamte Pixel den Abtastwert (Abb. 21, Bildmitte). Trifft ein Sample-Punkt auf die polygonale Struktur des Charakters (Abb. 21, rot), dient dies als Stichprobe und färbt das Pixel grau. Tastet ein Sample den Hintergrundbereich ab (Abb. 21, grün), wird das zugehörige Pixel schwarz dargestellt. Durch den Fakt, dass der Abtastwert des Mittelpunktes als Stellvertreter für

¹⁹² vgl. Chopine, 2011: 221

¹⁹³ dt.: Treppeneffekt; Bed.: Auftreten von Bildfehlern und Artefakten bei der Abtastung einer Computergrafik

¹⁹⁴ dt.: Beispiel, Probe, Abtastwert; Bed.: Abtastwert der Farbinformationen einer Computergrafik

¹⁹⁵ dt.: Abtastung, Probeentnahme ; Bed.: Abtastung und Konvertierung stufenloser Farbwerte in abgestufte Farbberei - che bei der Erzeugung eine RGB-Bildes aus dreidimensionalen Szenen

den Farb- und Kontrastwert des gesamten Pixels dient, kommt der rasterartige Aufbau der Pixel zum Vorschein, was an der blockartige, treppenförmigen Struktur zu erkennen ist (Abb. 21, rechtes Bild).

Diese Bildartefakte können durch Anti-Aliasing¹⁹⁶ verringert oder vollständig beseitigt werden. Das geschieht durch die Erhöhung der Abtastpunkte. Da mehr Bilddaten gesammelt werden, als eigentlich für die Darstellung des Bildes benötigt werden, spricht man beim Verfahren des Anti-Aliasing von Over-Sampling¹⁹⁷. Die Anzahl der Samples übersteigt dadurch die Anzahl der zu berechnenden Pixel.¹⁹⁸

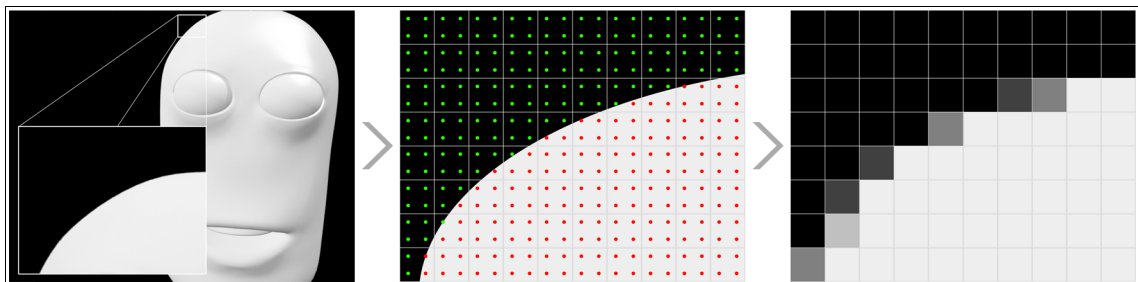


Abbildung 22: Bildabtastung mit vier Sample-Punkten je Pixel

Abb. 22 geht von dem gleichen Bildausschnitt wie im Beispiel zuvor aus (Abb. 22, linkes Bild). Das Sampling wird jedoch durch den Einsatz von Anti-Aliasing auf die vierfache Anzahl an Abtastpunkten erhöht, woraus sich vier Samples pro Pixel ergeben. Da das eine weitere Unterteilung des Pixels zur Folge hat, wird dieses Verfahren auch Subpixel-Sampling¹⁹⁹ genannt. Durch diese Methode entstehen Bereiche, an denen die Samples innerhalb eines Pixels nur teilweise auf die Geometrie des Charakters treffen (Abb. 22, Bildmitte). Die Farb- und Kontrastinformation des Pixels leitet sich demnach aus dem Durchschnitt seiner vier Sample-Punkte ab. Dadurch ergeben sich neben dem reinen Grau und Schwarz Abstufungen der Grautöne im Bereich der Kontur (Abb. 22, rechtes Bild)

Diese Abstufungen glätten das Bild und führen zu einem natürlicheren und gleichmäßigeren Gesamteindruck. Dabei handelt es sich um eine optische Glättung bei der keine Details des Bildes verloren gehen. Vielmehr ist diese Methode als Form der Schattie-

¹⁹⁶ dt.: Kantenglättung; Bed.: Verminderung von unerwünschten Bildfehlern bei der Erzeugung einer Computergrafik

¹⁹⁷ dt.: Überabtastung; Bed.: Anti-Aliasing-Technik zur Abtastung der Computergrafik auf Grundlage mehrerer Samples als Bildpunkte

¹⁹⁸ vgl. Agoston, 2005: 45

¹⁹⁹ dt.: Zwischenpixel-Abtastung; Bed.: Anti-Aliasing-Technik zur Abtastung der Computergrafik durch Unterteilung der Bildpunkte

rung zu betrachten, die mit steigender Anzahl an Samples den Detailgrad des Bildes verstärkt.²⁰⁰

Da durch die Erhöhung der Samples jedoch auch die Anforderungen an das berechnende System und die Rechenzeit steigen, gibt es Erweiterungen dieses Verfahrens, um den Prozess zu beschleunigen. Adaptive Sampling²⁰¹ ist eine Verfahrensweise, bei der die Anzahl der Samples innerhalb des Bildes variiert. Aufgrund einer vorangegangenen Bildanalyse, werden so uniforme Flächen durch weniger Punkte abgetastet, während Bereiche mit großen Farb- und Kontrastsprüngen von einer hohen Anzahl von Samples profitieren.²⁰² Die verwendeten Samples werden demnach dem Kontrast und Detailgrad des Bildes angepasst. Bildteile mit hohem Informationsgehalt, die verstärkt zu Artefakten führen, werden somit mit erhöhter Präzision berechnet, während Bildteilen mit geringem Informationsgehalt eine sekundäre Rolle zugesprochen wird.

Die Auflösung hängt von dem Medium ab, durch welches der Film verbreitet werden soll.²⁰³ Der tic tac-Spot wird für die Ausstrahlung im deutschen Fernsehen produziert und unterliegt daher Sendenormen. Diese Norm gibt unter anderem eine Auflösung von 720x576px vor. Das entspricht 720px in der Breite und 576px in der Höhe bei einem Seitenverhältnis von 16:9²⁰⁴. Das Prinzip des Over-Samplings macht man sich auch bei der Wahl der Auflösung zu Nutzen. So werden die Renderings der 3D-Szene mit einer Auflösung von 1280x720px erstellt. Durch die Wahl der höheren Auflösung wird die Anzahl der Bildpunkte erhöht und somit auch die Anzahl der verfügbaren Samples. Diese Methode basiert demnach nicht auf dem Subpixel-Sampling, sondern dem Hinzufügen von Bildpunkten. Eine Kombination der beiden Methoden ist möglich, wodurch qualitativ hochwertige Bilder erzeugt werden können. Für die finale Sendefassung werden die Bilder am Ende der Produktion auf die Auflösung von 720x576px skaliert.

200 vgl. Ebert, 1998: 140

201 dt.: Lernfähige, anpassungsfähige Abtastung; Bed.: Bildabtastung auf Grundlage von Farb- und Kontrastinformationen

202 vgl. Dempski et al., 2005: 47

203 vgl. Chopine, 2011: 219

204 Bed.: Verhältnis zwischen Bildbreite und -höhe, Breitbild

9.5 Render-Layer und Render-Passes

Obwohl bei der Erstellung einer Szene stets das Gesamtbild betrachtet wird, ist es sinnvoll, die einzelnen Elemente für den Render-Vorgang voneinander zu trennen. Wie in den Prinzipien der Animation bereits dargestellt wurde, lassen sich die einzelnen Objekte einer dreidimensionalen Szene räumlich staffeln und in Hintergrund- und Vordergrundelemente einteilen (s. 6.3 Optik und Haptik der Animation). Dadurch ergeben sich Schichten, welche als Layer²⁰⁵ definiert sind und als individuelle Bildsequenz gerendert werden können.

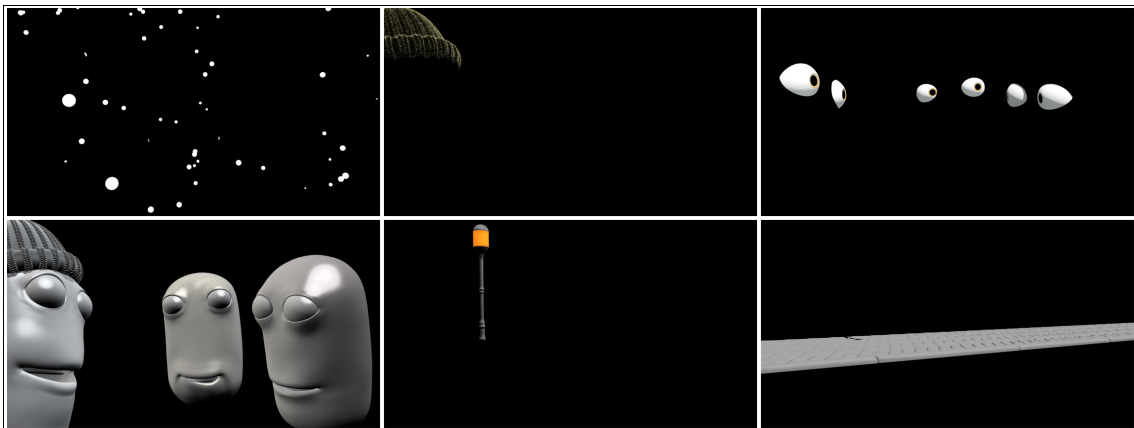


Abbildung 23: Render-Layer des tic tac-Spots

Abb. 23 zeigt die unterschiedlichen Render-Layer des tic tac-Spots. Der Schnee wird als vorderste Ebene definiert. Weiterhin bilden die Charaktere einen separaten Layer, von denen durch weitere Ebenenunterteilung die Fasern der Mütze und die Augen jeweils als einzelne OpenEXR-Sequenzen ausgespielt werden. Der Hintergrund wird in zwei weitere Schichten unterteilt. So werden sowohl die Lampe als auch der Fußweg als isolierte Elemente gerendert.

Um die Layer nach dem Rendern im Compositing-Departement wieder zusammensetzen zu können, müssen irrelevante Bereiche des Bildes ausgeblendet werden. Dazu wird für jede OpenEXR-Bilddatei neben den RGB-Farbkanälen (s. 9.3 Farbtiefe und Dateiformat) ein Alphakanal²⁰⁶ berechnet, wodurch das Bild aus vier Datenkanälen besteht. Der Alphakanal speichert Transparenz-Informationen und legt somit fest, welche Bereiche des Bildes sichtbar sein sollen. Eine weiße Fläche kennzeichnet dabei vollständige Sichtbarkeit während schwarze Bildpunkte Informationen verbergen.

205 dt.: Schicht, Ebene; Bed.: Zweidimensionale Ebene des Renderings

206 Bed.: Zusätzlicher Bildkanal neben den RGB-Farbkanälen zur Speicherung von Transparenzinformationen

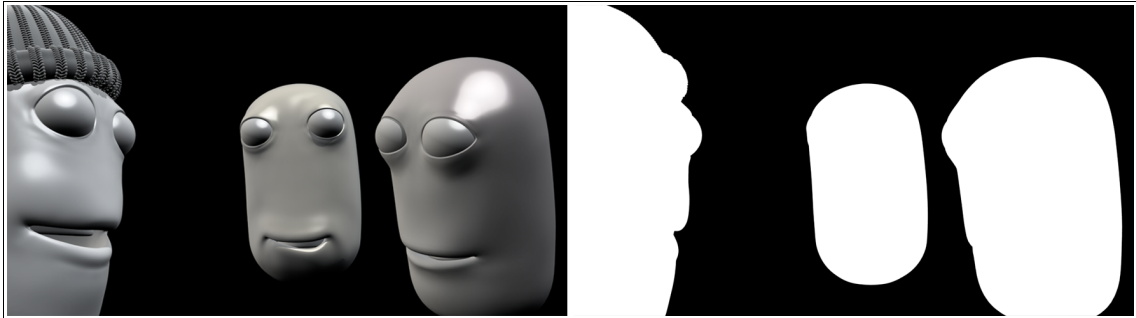


Abbildung 24: Alphakanal des Charakter-Layers

Abb. 24 stellt den Alphakanal des Charakter-Layers dar. Lediglich an den Stellen, wo sich Oberfläche der Charaktere befindet, enthält der Alphakanal weiße Bildinformationen. Der umgebene Hintergrund wird als schwarze Fläche gekennzeichnet und vollständig unsichtbar interpretiert. Durch die Verwendung von verschiedenen Graustufen des Alphakanals ist es möglich, teilweise transparente Bereiche, wie einen auslaufenden Schatten, darzustellen.

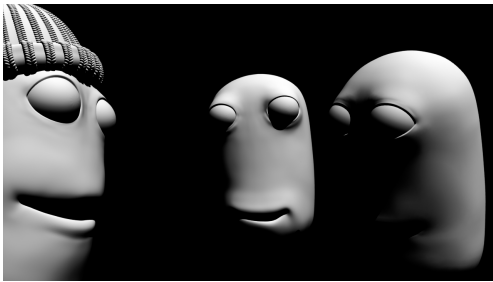
Neben der Einteilung der Szene in Layer können diese weiter für das Rendern unterteilt werden. So können für jede Ebene Attribute isoliert und als individuelle OpenEXR-Sequenz gerechnet werden. Dieser Vorgang wird Multiple-Pass-Rendering²⁰⁷ genannt. Die einzelnen Passes²⁰⁸ weisen je nach Funktion unterschiedliche Merkmale auf. So kann ein Pass Informationen über Beleuchtung, Schatten, Farbe, Entfernung der Geometrie zur Kamera und viele weitere enthalten.²⁰⁹ Passes werden nach dem Attribut, welches sie charakterisiert, benannt. So wird ein Pass, der Reflexionsinformationen enthält, beispielsweise Reflection-Pass genannt, während ein Pass, der zur Speicherung von Schatteninformation dient, als Shadow-Pass bezeichnet wird. Da das Rendern von Passes das Rendern von Layern nicht ersetzt, sondern stärker spezifiziert, ergibt sich eine Vielzahl von abgetrennten Bildsequenzen. Allein der Charakter-Layer wird für die Produktion des tic tac-Films für das Rendering in 48 Passes aufgeteilt.

Auf den folgenden Seiten wird die Auflistung einer Auslese der bedeutendsten Render-Passes der tic tac-Produktion dargestellt und erläutert.

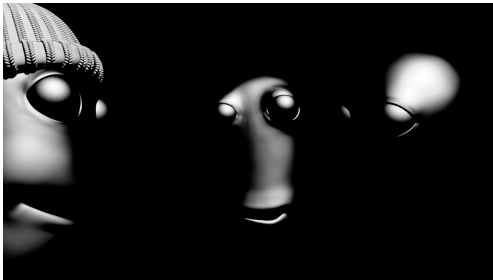
207 dt.: Berechnung multipler Lagen; Bed.: Render-Verfahren für die Erstellung multipler attributspezifischer Bildsequenzen durch Isolation einzelner Attribute

208 dt.: Lage, Attributebene; Bed.: Zweidimensionale Lage isolierter Attribute

209 vgl. Ardito, 2010: 1250



Der Diffuse-Pass enthält alle Beleuchtungsinformationen der diffusen Reflexion. Weiterhin können Farbinformationen enthalten sein.



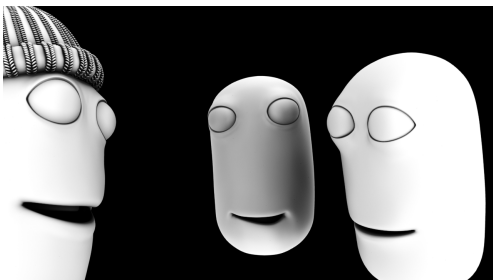
Der Specular-Pass beinhaltet die Informationen des gerichteten Lichts. Dieses sind unter anderem Glanzpunkte der Oberfläche.



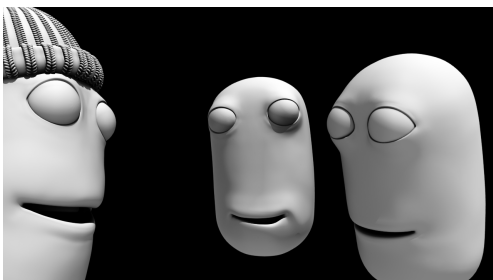
Der Reflection-Pass schliesst Reflexionen anderer Objekte, der Umgebung und Eigenreflexionen ein.



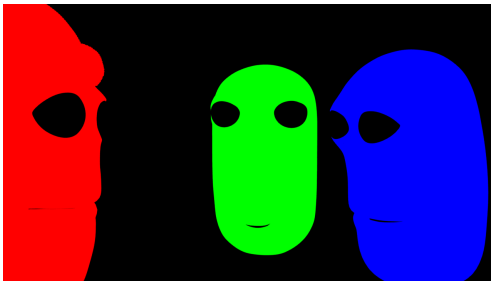
Der Ambient-Pass wird auch Color-Pass oder Albedo-Pass genannt. Er beinhaltet die tatsächlichen Farbinformationen. Ein Ambient-Pass zeigt das Objekt ohne Schattierungsstufen. Dieses resultiert in einer flachen und einheitlichen Färbung der Flächen.



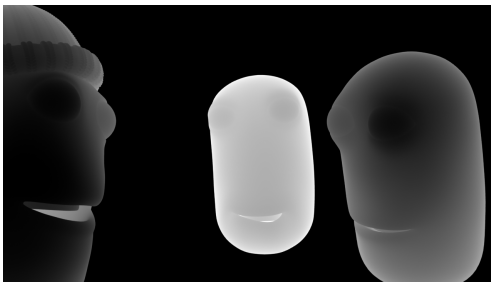
Der Occlusion-Pass beinhaltet die Verdunkelungsinformationen der Berechnung des Ambient Occlusion.



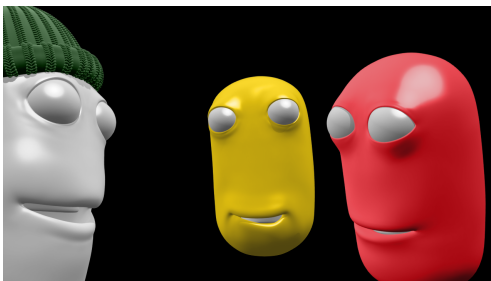
Der Global Illumination-Pass stellt das indirekte Licht der Szene dar.



Der Mask-Pass enthält Transparenzinformationen in Form eines Alphakanals. Eine gängige Methode ist es, verschiedene Masken in den RGB-Farben einzufärben, um durch Interpretation der Farbkanäle bis zu drei verschiedenen Masken in einem Bild speichern zu können.



Der Depth-Pass speichert Tiefeninformationen der Geometrie entlang der Z-Achse. Dabei werden Punkte die direkt im Focus der Kamera liegen weiß dargestellt und vom Focus entfernte Bereiche verdunkelt. Durch diese Informationen kann Tiefenschärfe simuliert werden.



Der Beauty-Pass umfasst das komplette Rendering der Szene. Er enthält alle Attribute wie Reflexionen, Speculars, Diffuse etc.

9.6 Relevanz des Layer-Pass-Systems

Durch das Aufteilen der Shots in Layer und Passes ergibt sich auf den ersten Blick ein weiterer komplexer Arbeitsschritt, der durch das Rendern eines zusammengesetzten Bildes als einzelner Beauty-Pass vermeidbar wäre. Des Weiteren stellt jede separat gerenderte Bildinformation auch eine physikalische Speichergröße dar, wodurch ein Vielfaches an Speicherplatz benötigt wird. Unter diesen Gesichtspunkten stellt sich also die Frage nach dem Sinngehalt dieser Vielschicht an Informationen.

Zum einen findet das Layer-Pass-System seine Berechtigung auf pragmatischer Ebene. Aufwendig arrangierte Szenen mit einer Mehrzahl von Elementen können von vielen Systemen als Gesamtbild nicht mehr berechnet werden. Computerabstürze und einfrierende Software sind die Folge. Erst die Einteilung in Schichten macht das isolierte Berechnen der Elemente in vielen Fällen möglich. Das fehlerhafte Rendern einer gesamten Szene führt zur vollkommenen Nutzlosigkeit der Bildsequenz, wohingegen

beim Rendern einzelner Teilstücke lediglich das beschädigte Element neu berechnet werden muss. Die unversehrten Passes bleiben erhalten.

Der Aufbau des Systems ist als Weiterentwicklung ursprünglicher Methoden zu verstehen. Zu Beginn der CG war es durchaus üblich, selbst bei professionellen Produktionen, die gesamte Szene als einzelnen Beauty-Pass mit diversen Maskenkanälen zu rendern. Dieses erlaubte geringfügige Anpassungen des Renderings im Compositing. In der Praxis hat es sich allerdings gezeigt, dass der Arbeitsaufwand für Änderungen des 3D-Departements sehr groß ist. Diese Änderungen beruhen auf Anweisungen und Wünschen des Kunden oder des Regisseurs. Es ist üblich, das Konzept eines Films während der Produktion zu überarbeiten. Das Layer-Pass-System gewährleistet dabei eine hohe Flexibilität. Durch den großen Umfang an Passes und die damit verbundene Fülle an individuellen Bildinformationen ist es möglich, selbst komplexe Änderungen direkt im Compositing durchzuführen ohne ein erneutes Rendern der 3D-Szene zu erzwingen. Nachträgliche Farbveränderungen, Arrangement der Elemente, Feintuning der Lichter und viele weitere Anpassungen können durch dieses Prinzip direkt im Compositing-Departement umgesetzt werden, ohne die Arbeit des 3D-Departements durch einen erneuten Rendrauftrag zu blockieren.²¹⁰

Sollten Änderungen nicht im Compositing umsetzbar sein, muss im jeweiligen 3D-Departement nachgearbeitet werden. Die hohe Flexibilität ermöglicht jedoch auch an diesem Punkt eine optimale Ausschöpfung des Zeit- und Rechenaufwands. Geht man von dem Fakt aus, dass die meisten Kundenänderungen auf den Hauptcharakteren der Szene und deren Attributen beruhen, wird dies deutlich. Für die Veränderung der Animation der tic tac-Charaktere ist es lediglich notwendig diesen Layer neu zu rendern. Elemente des Hintergrunds oder der Schneefall im Vordergrund bilden einzelne Schichten und müssen nicht neu berechnet werden. Weiterhin ist eine hohe Kontrollierbarkeit gegeben. So können auf die einzelnen Elemente der Szene unterschiedliche Render-Parameter angewendet werden. Die Charaktere werden durch ihre hohe Präsenz im Bild in höherer Qualität gerendert, während Objekte im Hintergrund, die in der Unschärfe der Tiefe verschwinden, in Hinblick auf einen schnellen Render-Vorgang optimiert werden.

Weitergehend können durch ein ausgedehntes Layer-Pass-System intensive Berechnungen des 3D-Departements durch das Compositing-Departement abgefangen werden. Ein Beispiel ist die Berechnung des Motion Blur²¹¹, welcher die Unschärfe bei Be-

210 vgl. Chopine, 2011: 226

211 dt.: Bewegungsunschärfe; Bed.: Verfahren zur Simulation der Unschärfe von Objekten in Bewegung

wegungen von Objekten simuliert. Nimmt in einer 3D-Umgebung die Simulation dieses Effekts ein hohes Rechenpensum in Anspruch, so kann durch das Rechnen eines Motion Passes dieser Effekt durch die Interpretation von Bewegungsvektoren in einem Bruchteil der Zeit durch das Compositing-Departement simuliert werden. Ähnlich verhält es sich bei der Nachahmung von Tiefenschärfe, die durch die Nutzung des Depth-Passes effektiver im Compositing berechnet werden kann. Gerade hochqualitative weiche Schatten und Anpassungen des indirekten Lichtes durch GI verlangsamen den Render-Vorgang enorm. Durch das Layer-Pass-System ist es möglich, Schatten auf niedrigem Qualitätslevel als einzelne Ebene zu rendern und harte Schattenkanten anschließend in der Nachbearbeitung weich zu zeichnen. Oft ist es sinnvoll sogar Beleuchtungseinstellungen im Compositing zu ändern, anstatt die Szenen noch einmal zu rendern. Dieses wird durch das Relighting²¹² möglich. Durch Interpretation des Normal-Passes, welcher Information über die Oberflächennormale der Vertices beinhaltet (s. 4.1 Begriffsdefinitionen), und der Kameraposition kann so das Beleuchtungssetup durch Strahlenberechnungen direkt im Compositing neu arrangiert werden. Für den tic tac-Spot bedeutet das, dass lediglich das Fundament für Lighting- und Shading-Informationen in der 3D-Software erstellt werden müssen. Die Feinabstimmung kann auf das Compositing-Departement ausgelagert werden.

Ein weiterer Vorteil des Layer-Systems ist die mögliche Mehrfachverwendung einzelner Layer. So ist zum Beispiel eine Staffelung des Schnee-Layers in der Tiefe durch das Compositing-Departement möglich, ohne diesen mehrfach in der 3D rendern zu müssen. Auch die Erstellung des Hintergrunds profitiert von der Vorgehensweise. Da es sich beim Hintergrund des tic tac-Spots um eine einfache Farbfläche mit einem Farbverlauf handelt, welche keine eigene Animation besitzt, ist es nicht notwendig, dieses statische Element für die gesamte Spanne des Films zu rendern. Der Hintergrund lässt sich als Standbild im Compositing zu dem Gesamtbild hinzufügen. Es gibt unzählige Beispiele, durch die sich bei der Auslagerung von Rechenprozessen auf das Compositing-Departement Zeit und Ressourcen schonen lassen.

Diese Ressourcenschonung spiegelt sich auch auf der technischen Seite in Hard- und Software wieder. Da sowohl die 3D- als auch die Compositing-Software Stärken und Schwächen aufweisen, können die einzelnen Aufgaben auf das jeweilige System ausgelagert werden. Der Arbeitsplatz eines 3D-Artists oder die Maschinen der Render-Um-

212 dt.: Umleuchten; Bed.: Anpassung der Beleuchtung dreidimensionaler Szenen durch das Compositing-Departement auf Grundlage der Oberflächennormalen

gebung werden demnach nicht durch das Berechnen unbedeutender Änderungen oder unverhältnismäßig komplexer Effekte blockiert.

Der immense Gewinn an Flexibilität, Kontrolle, Ressourcenschonung, Zeit- und Aufwandsersparnis hat das Rendering in Layern und Passes heute zu großer Popularität verholfen, wodurch sich das System in vielen professionellen Workflows verankern konnte.

10 Fazit

Rekapituliert man die Ergebnisse der Analyse, werden die Faktoren für einen reibungslosen Ablauf bei der Erstellung eines computergenerierten Animationsfilms in einer Postproduktion deutlich. Eine ausgiebige Planungsphase ist als erster Schritt für den gesamten Produktionsablauf von gravierender Bedeutung. So wurde belegt, dass durch eine grobe Charakterisierung des Films durch das Storyboard, Photomatics und Skizzen des Art-Departements im Vorfeld komplexe Abstimmungsphasen unter enormer Aufwandsersparnis durchgeführt werden können. Weiterhin verdeutlichte ich, dass der Fluss des Modellierungsprozesses von der Art des verwendeten Verfahrens abhängig ist. Durch geometrische Primitive als Basis und den Einsatz von Soft Selects zur Modifikation der Proportionen können verschiedene Modellversionen erstellt werden und Änderungen effizient umgesetzt werden. Es wurde aufgezeigt, dass die Modellierung stets in Hinblick auf die Anzahl der verwendeten Polygone erfolgen muss. Das Zusammenfassen irrelevanter Gruppen von Polygonen wurde als Optimierungsparameter des folgenden Produktionsablaufs dargelegt. Des Weiteren konnte ich die Relevanz der Erstellung eines funktionierenden Rigs belegen und als fundamentales Element der Animation beschreiben. Neben dieser technischen Spezifikation verdeutlichte ich auch gestalterische Animationsprinzipien, die von entscheidender Bedeutung für die Optik und Haptik und somit das für das Empfinden des Betrachters sind. Zur Optimierung des Animationsvorgangs wurden das Verfahren des Keyframings mit automatisierter Zwischenbildberechnung und Blendshapes als vordefinierte Gesichtsausdrücke aufgedeckt. Im Folgenden wurde der Einfluss der Interaktion von Licht und Materie in den Untersuchungsinhalt einbezogen. So stellte sich heraus, dass durch ausgewählte Shading-Informationen selbst Modelle mit einfacher Geometrie ein realistisches Erscheinungsbild erhalten können. Zu diesem Zweck stellte ich die Eigenschaften von diffus und gerichtet reflektiertem Licht gegenüber. Dieses führte zu dem Schluss, dass das Shading von Elementen immer auf einer Balance dieser verschiedenen Reflexion basieren muss. Zur Berechnung der Strahlen zeigte ich das Prinzip des Raytracings auf. Es offenbarte sich der Vorteil dieser Methode für den weiteren Produktionsverlauf, da durch eine Umkehrung des Strahlenflusses lediglich für den Bildausschnitt relevante Lichtstrahlen für die Berechnung herangezogen werden. Weiterhin wird die Berechnung transparenter und refraktiver Bereiche ermöglicht. Des Weiteren wies ich auf die Bedeutung von Subsurface Scattering für die lebensechte Beschreibung von Charakteroberflächen, wie Haut und Augen hin. In Bezug auf die Ausleuchtung einer Szene

gab ich Aufschluss über die verwendbaren Lichtquellen, deren Vor- und Nachteile und Funktionsweisen. Die Dreipunkt-Beleuchtung kristallisierte sich dabei als effizientes Verfahren zur Akzentuierung von Charakteren heraus. Auch der Einsatz einer Environment Sphere als Umgebungslichtquelle wurde als ästhetische Alternative zum Ambient Light beschrieben. Durch das Raytracing in Zusammenhang mit einer sphärischen Reflection Map konnten Umgebungsreflexionen in die Shading-Informationen der Elemente der Szene einbezogen werden, ohne eine vollständige Umgebung modellieren zu müssen. Der Einsatz einer Reflection Map wurde als Verfahren zur Aufwandsersparnis definiert. Beim Vergleich von Local und Global Illumination stellte sich die Global Illumination als Methode zur photorealistischen Ausleuchtung einer Szene dar. Um den Produktionsablauf durch das rechenintensive Verfahren von GI nicht zu verlangsamen, machte ich die Bedeutung von Ambient Occlusion als Alternative zur vollständigen globalen Beleuchtung deutlich. Beim Rendern der Szene wurde besonderes Augenmerk auf die Flexibilität bei der Weiterverarbeitung im Compositing gelegt. So wurde das OpenEXR-Format mit einer darstellbaren Farbtiefe von 32 bit hervorgehoben, um im Compositing von einem hohen Dynamikumfang zu profitieren. Diese Flexibilität wurde durch das Unterteilen der Szene in einzelne Elemente durch das Rechnen separater Render-Layer und Render-Passes erweitert.

Resümiert man den Ablauf des Produktionsvorgangs wird deutlich, dass die Erstellung eines computergenerierten Animationsfilms lediglich durch die Kombination von kreativem Gestaltungsvermögen, technischem Verständnis, und einer organisierten Struktur realisierbar ist. Zusammenfassend stelle ich fest, dass die saubere Trennung der einzelnen Etappen in verschiedene Departements das Herzstück dieser Struktur in einer Postproduktion bildet. Als Resultat lassen sich demnach auch Abstimmungsphasen mit dem Kunden nach diesen Teilstücken abstufen. So ist es der Fall, dass ein 3D-Shot zunächst in Hinsicht auf Modeling, Animation oder Framing in einer vorgelagerten Kundenpräsentation abgenommen wird, wohingegen spezifische Fragen, die den Look des Films betreffen zu einem späteren Zeitpunkt abgestimmt werden. Das Prinzip des gestaffelten Abnahmeprozesses erlaubt es, die Arbeitsschritte je nach Produktionsfortschritt zu gewichten. Dies bringt enorme Vorteile mit sich. So hat der Kunde im Rahmen seines Abstraktionsvermögens in jeder Abstimmungsphase lediglich einen begrenzten Rahmen zu bewerten, z.B. die bloße Form des tic tac-Charakters in der Phase der Modellierung. Durch diese Erleichterung kommt es zu genaueren Abstimmungsergebnissen und einer deutlichen Reduzierung von Produktionsschleifen, die entstehen würden, wenn multiple Bewertungskriterien den Abstraktionshorizont des Kunden übersteigen. Der zu bewertende Teil kann also losgelöst vom Rest der Produktion betrach-

tet werden. Des Weiteren bringt die Departement-Gliederung einen Vorteil für die interne Arbeit der Postproduktion mit sich. Die Departements können durch die Staffelung in kleine Arbeitsschritte optimal auf die isolierten Themen der Bearbeitung reagieren. Gerade bei komplexen 3D-Projekten ist es notwendig, das 3D-Departement durch die Arbeit des Compositing-Departements zu entlasten. So ist durch die Kombination aus Departement- und Layer-Pass-System eine klare Verteilung der Arbeitslast gewährleistet. Kapazitäten im Bereich der Manpower bei der Überarbeitung von Shots, Hardware in Bezug auf Render-Intensität und Software, bei der das effektivste Werkzeug für die jeweilige Aufgabenstellung gewählt wird, können je nach Bedarf auf die einzelnen Departements ausbalanciert werden. So kann jeder Artist mit den Aufgaben betreut werden, die dem jeweiligen Talent am besten entsprechen. Es erfolgt demnach eine Optimierung in Qualität und Quantität ohne dabei ein Departement zu über oder unterfordern. Im Grundgedanken baut die Arbeit einer Postproduktion auf der Arbeit von vorangegangenen Schritten auf und ist somit im Ablauf linear begrenzt. Die Untergliederung der Departements macht jedoch simultanes Arbeiten möglich. Sobald ein Charakter durch das Modellierungs-Departement fertig gestellt wurde, kann dieser im Layout ausgetauscht werden. Parallel kann ein Rig für den Charakter erstellt werden, während das Shading-Departement bereits erste Tests für die Entwicklung der Oberfläche durchführt. Ebenso kann das Shading-Departement den tic tac-Charakter mit einer blauen Mütze in einer einfachen Shading-Variation dem Compositing-Departement in mehreren Passes zur Verfügung stellen. So können im Compositing mittels der spezifischen Masken bereits mehrere Präsentationsvorschläge (rote, blaue, grüne Mütze) erstellt werden, während in den 3D-Departements der Charakter final animiert wird oder ein Woll-Look für die Mütze entwickelt wird. Es kann also eine hohe Zeiteffizienz mit gegebenen Ressourcen innerhalb der betrieblichen Einheit erzielt werden. Der Ablauf bietet den Ausgangspunkt für schnelles und effektives Arbeiten, was sich auch im Kostenaufwand widerspiegelt. Die starre Strukturierung des Produktionsaufbaus unterliegt jedoch auch Einschränkungen. Je weiter die Produktion voran schreitet, desto flexibler wird der Workflow. Unter praktischen Gesichtspunkten ist es üblich, dass Departements ineinander überfließen. So kann ein Artist nach getaner Arbeit andere Departements unterstützen. Ein Artist aus dem Modellierungs-Departement kann bei Vervollendung eines Charakters mit dem Riggen betreut werden, während ein Artist, der Elemente der Umgebung modelliert hat, sich um deren Positionierung in der Szene Gedanken macht. Gerade bei Projekten mit einer begrenzten Anzahl an Artists ist es gängig, dass die Strukturen je nach Bedarf verlaufen.

Der Blick in die Zukunft ist ungewiss, da sich die Branche der Postproduktion ständig im Wandel befindet. Der Arbeitsprozess ist dabei stets an die laufende Entwicklung der spezifischen Soft- und Hardware gekoppelt. Optimierungen werden demnach den Rechenprozess beschleunigen. Dennoch steht ein Artist mit jedem neuen Projekt vor neuen Herausforderungen. So stellt beispielsweise der aufkommende Trend des stereoskopischen Films einen immensen Mehraufwand bei der Berechnung dar. Neue Animationsverfahren wie das Motion Capturing, bei dem Positionspunkte von realen Darstellern auf die Animation von CG-Charakteren übertragen werden, können das Prinzip des Keyframings zwar ablösen, müssen jedoch in einem separaten Arbeitsschritt aufgearbeitet werden. Auch Erweiterungen des Raytracing-Algorithmus werden zur Optimierung der Abläufe in einer Postproduktion in Zukunft beitragen.

Was sich im Gegensatz zu den technischen Gegebenheiten nicht verändern wird, ist die Notwendigkeit von künstlerischer Fähigkeit. Denn schließlich sind es die Kreativität und das ästhetische Empfinden, die einen Animationsfilm wie den tic tac-Spot erst realisierbar machen.

Literaturverzeichnis

AGOSTON Max K.: Computer Graphics & Geometric Modeling: Implementation & Algorithms. Herausgegeben von SPRINGER-VERLAG. London 2005.

ARDITO Marco: Blender PDF Manual. Herausgegeben von PDF.LETWORYINTERACTIVE.COM 2010. URL: <http://pdf.letworyinteractive.com/download/category/1-pdf?download=2%3Ablender-manual-20100622>, STAND 22.06.2010.

BIRN Jeremy: Digital Lighting and Rendering, Second Edition. Herausgegeben von NEW RIDERS. Berkeley 2006.

BOUGHEN Nicolas: 3ds max lighting. Herausgegeben von WORDWARE PUBLISHING INC. Texas 2005.

BRINKMANN Ron: The Art and Science of Digital Compositing, Second Edition. Herausgegeben von ELSEVIER INC. (MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS). Burlington 2008.

CHOPINE Ami: 3D Art Essentials: The Fundamentals of 3D Modeling, Texturing, and Animation. Herausgegeben von ELSEVIER INC. (FOCAL PRESS). Burlington 2011.

DEMPSKI Kelly et al.: Advanced Lighting and Materials with Shaders / von Kelly Dempski & Emmanuel Vale. Herausgegeben von WORDWARE PUBLISHING INC. Texas 2005.

EBERT David S. et al.: Texturing and Modeling: A Procedural Approach / von David S. Ebert, F. Kenton Musgrave, Darwyn Peachey, Ken Perlin & Steven Worley. Herausgegeben von ACADEMIC PRESS. San Diego 1998.

HOLZBAUER C.: Ferrero Unternehmensbericht, Unternehmensdarstellung. Herausgegeben von ETAPARA.ORG 2012. URL: <http://etapara.org/company/version?company=104&topic=0&version=2012-02-20+16%3A03%3A13&originator=community>, Stand 20.02.2012.

HERLEIN Ilja: Einführung in 3D-Dateien am Beispiel der Software MilkShape3D. Herausgegeben von ILJAHERLEIN.DE 2005. URL: <http://www.iljaherlein.de/download.php?f=a9f48159c394a530d52937276d273f43>, Stand 13.01.2005.

HULLFISH Steve: The Art and Technique of Digital Color Correction. Herausgegeben von ELSEVIER INC. (FOCAL PRESS). Burlington 2008.

KAINZ Florian et al.: Technical Introduction to OpenEXR. Herausgegeben von OPENEXR.COM 2009. URL: <http://www.openexr.com/TechnicalIntroduction.pdf>, Stand 18.02.2009.

PARENT Rick: Computer Animation: Algorithms and Techniques. Herausgegeben von ACADEMIC PRESS. San Diego 2002.

OSIPA Jason: Stop Staring: Facial Modeling and Animation done right. Herausgegeben von WILEY PUBLISHING. Indianapolis 2007.

RITCHIE Kiaran et al.: The Art of Rigging - Volume 2: A definitive guide to character technical direction with Alias Maya / von Kiaran Ritchie, Jake Callery, Oleg Alexander & Karim Biri. Herausgegeben von CG TOOLKIT. United States 2005.

ROSSANO Antony: XSI Illuminated: Character - A comprehensive technical and artistic guide to creating character animation using Softimage | XSI. Herausgegeben von MESMER INC. Washington 2004.

SCHMIDT Ullrich: Digitale Videotechnik: Analoge und digitale Grundlagen, Signalformen, Videoaufnahme, Wiedergabe, Speicherung, Signalverarbeitung, Gerätetechnik. Herausgegeben von FRANZIS-VERLAG. Feldkirchen 1996.

THOMAS Frank et al.: The Illusion of Life: Disney animation / von Frank Thomas & Ollie Johnston. Herausgegeben von WALT DISNEY PRODUCTIONS. New York 1981.

WARD Antony et al.: 3D Modeling in Silo: The Official Guide / von Antony Ward, David Randall & Nevercenter. Herausgegeben von ELSEVIER INC. (FOCAL PRESS). Burlington 2011.

WHITE Tony: How to make animated films: Tony White's complete masterclass on the traditional principles of animation. Herausgegeben von ELSEVIER INC. (FOCAL PRESS). Burlington 2009.

Glossar

FACHBEGRIFF - *Deutsche Übersetzung (optional)*

Erklärung (optional)

A

ADAPTIVE SAMPLING - *Lernfähige, anpassungsfähige Abtastung*

Bildabtastung (s. Sampling) auf Grundlage von Farb- und Kontrastinformationen

ALIASING - *Treppeneffekt*

Auftreten von Bildfehlern und Artefakten bei der Abtastung einer Computergrafik (s. Sampling)

ALPHAKANAL

Zusätzlicher Bildkanal neben den RGB-Farbkanälen zur Speicherung von Transparenzinformationen

ANTI-ALIASING - *Kantenglättung*

Verminderung von unerwünschten Bildfehlern (s. Aliasing) bei der Erzeugung einer Computergrafik

AMBIENT LIGHT - *Ambientes Licht*

Lichtquelle (s. Light) zur Simulation des Umgebungslichts in einer dreidimensionalen Umgebung

AMBIENT OCCLUSION - *Umgebungsverdeckung*

Physikalisch nicht korrekte Methode der Computergrafik zur realistischen Verschattung von Szenen mit geringer Renderzeit

ANIMATIC - *Animations-Layout*

Visualisiertes Storyboard (s. Storyboard) im dreidimensionalen Raum, vorläufige Version von Computeranimationen

AREA LIGHT - *Flächenlichtquelle*

Lichtquelle (s. Light) mit bestimmter Größe in einer dreidimensionalen Umgebung

ARMATURE - *Armatur, Skelett, Ausrüstung*

Verkettung von Kontrollpunkten für das Posieren digitaler Figuren

ARTIST - *Künstler, Gestalter, Grafiker*

Kreative Arbeitskraft in einer Postproduktion

B - C

BACK-FACE - *Rückseite*

Der Kamera abgewandte Rückseite eines Polygons (s. Polygon)

BACKWARD RAYTRACING - *Umgekehrte Strahlenverfolgung*

Alternative Bezeichnung des Raytracing-Algorithmuses (s. Raytracing) auf Grundlage der Invertierung des Strahlenverlaufs

BLENDSHAPE-ANIMATION - *Formenüberblendungs-Animation*

Animationstechnik zur Überblendung verschiedener Ausdrücke/Gesichtsausdrücke

BOX MODELING - *Kasten-Modellierung*

Modellierungsverfahren auf Grundlage eines geometrischen Körpers (z.B. Würfel)

CHILD - *Kind, Nachfolger*

Untergeordneter Kontrollpunkt eines Rigs/Armatures (s. Armature, Rigging)

COLOR BLEEDING - *Farbauslaufen*

Lichtphänomen, bei dem Oberflächen durch Lichtreflexionen die Farbe benachbarter Oberflächen annehmen

COMPOSITING - *Bildsynthese*

Verbindung visueller Elemente verschiedener Quellen (s. Pass, Layer) zu einem Gesamtbild

COMPUTER-GENERATED IMAGERY - *Computergenerierte Bilder*

Durch 3D-Computergrafik erzeugte Bilder

CORPORATE IDENTITY - *Unternehmensidentität, Firmenimage*

Visuelle Richtlinien eines Unternehmens, Gesamtheit der charakteristischen und von anderen Unternehmen unterscheidenden Merkmale

D - E**DIFFUSE REFLECTION** - *Diffuse, gestreute Reflexion*

Reflexionsart, Streuung des Lichtes durch die Reflexion auf Oberflächen mit gewisser Struktur

DIFFUSE SHADER - *Diffuser Schattierer*

Schattierungswerkzeug zur Simulation der Lichtstreuung bei diffusen Reflexionen (s. Diffuse Reflection)

DIRECTIONAL LIGHT - *Richtungslichtquelle, gerichtete Lichtquelle*

Lichtquelle (s. Light) zur Aussendung paralleler Strahlen aus einem bestimmten Winkel in einer dreidimensionalen Umgebung

DIRT SHADER - *Verschmutzungs-Schattierer*

Umgangssprachliches Synonym für Ambient Occlusion (s. Ambient Occlusion)

EASE-IN/EASE-OUT - *Einleiten/abklingen*

Keyframing-Technik (s. Keyframing), Geschmeidiger Animationsstart und -ende durch kurvenförmige Ausrichtung des Animationsgraphen, Beschleunigung und Ausbremsen der Animation des jeweiligen Attributs

EDGE - *Linie, Kante*

Geometrischer Begriff, Verbindung zweier Vertices (s. Vertex)

ENVIRONMENT SPHERE - *Umgebungskugel, Umgebungshülle*

Um die dreidimensionale Szene gehüllte Kugel zur Gewinnung des Umgebungslichts (s. Ambient Light) durch Raytracing (s. Raytracing)

EXTRUSION MODELING - *Extrusions-Modellierung*

Modellierungsverfahren auf Grundlage der Formung von Konturen

F**FACE** - *Gesicht, Fassade*

Geometrischer Begriff, durch mindestens drei Edges (s. Edge) eingegrenzte Fläche

FACIAL ACTION CODING SYSTEM - *Gesichtsbewegungen-Kodierungssystem*

Weltweit verbreitetes Kodierungsverfahren zur Beschreibung von Gesichtsausdrücken

FACIAL ACTION UNIT - *Bewegungseinheit des Gesichts*

Definition eines Gesichtsausdrucks des Facial Action Coding Systems (s. Facial Action Coding System)

FILL LIGHT - *Fülllicht*

Lichtquelle (s. Light) des Prinzips der Dreipunktbeleuchtung zur Aufhellung markanter Schatten des Key Lights (s. Key Light)

FLOATING-POINT-VALUE - *Gleitkommazahl, Fließkommazahl*

Approximative Darstellung einer reellen Zahl

FRAME - *Einzelbild*

Einzelnes Bild einer Bildsequenz

FRAMERATE - *Bildfrequenz, Bildwechselfrequenz*

Angabe der Anzahl der Frames (s. Frame) in einer Sekunde

FRAMING - *Umrahmung*

Beschreibung des Bildausschnitts/der Einstellungsgröße eines Shots (s. Shot)

FRONT-FACE - *Vorderseite*

Der Kamera zugewandte Vorderseite eines Polygons (s. Polygon)

G - J**GLOBAL ILLUMINATION** - *Globale Beleuchtung*

Beleuchtungsmodell zur Simulation der Licht-Wechselwirkungen von Objekten unter Berücksichtigung des indirekten Lichts

GLOSS - *Glanz, Glasur*

Shader-Einstellung (s. Shader) zur Festsetzung der Reflexionsschärfe

HEMISPHERIC SAMPLING - *Halbkugelförmige Probenahme*

Punktuelle Abtastung (s. Sampling) eines halbkugelförmigen Bereichs

HIGH DYNAMIC RANGE IMAGE - *Hochkontrastbild*

Bild mit hohem Dynamikumfang durch detailreiche Speicherung großer Helligkeitsunterschiede

HIGH POLY MODEL - *Hoch-polygonales Modell*

Modell bestehend aus einer hohen Anzahl an Polygonen (s. Polygon)

INDEX OF REFRACTION - *Brechungsindex*

Physikalischer Index für die Stärke der Brechung von Lichtstrahlen (s. Refraktion)

K - L**KEY LIGHT** - *Hauptlicht, Schlüssellicht*

Hauptlichtquelle (s. Light) des Prinzips der Dreipunktbeleuchtung zur Festsetzung der Lichtrichtung und der vorherrschenden Schatten

KEY-TO-FILL-RATIO - *Haupt-Füll-Verhältnis*

Verhältnis der Intensität von Key Light (s. Key Light) und Fill Light (s. Fill Light)

KEYFRAMING - *Schlüsselbild-Animation*

Animation durch Setzen von Keyframes (s. Keyframe) an bestimmten Punkten im Zeitverlauf des zu animierenden Attributs

KEYFRAME - *Schlüsselbild*

Schlüsselpunkte des Animationspfades im Zeitverlauf

LAYER - *Schicht, Ebene*

Zweidimensionale Ebene des Renderings

LIGHT - *Licht, Beleuchtungskörper*

Grundbezeichnung einer digitalen Lichtquelle im dreidimensionalen Raum

LOCAL ILLUMINATION - *Lokale Beleuchtung*

Beleuchtungsmodell zur Simulation der direkten Interaktion von Licht auf einen Körper

LOW POLY MODEL - *Nieder-polygonales Modell*

Modell bestehend aus einer geringen Anzahl an Polygonen (s. Polygon)

M - Q**MESH** - *Polygonnetz*

Zusammenschluss der Polygone (s. Polygon) einer Oberfläche

MIRRORING - *Spiegelung*

Modellierungstechnik für das symmetrische Duplizieren einer Mesh-Hälfte (s. Mesh)

MOTION BLUR - *Bewegungsunschärfe*

Verfahren zur Simulation der Unschärfe von Objekten in der Bewegung

MULTI-PASS-RENDERING - *Berechnung multipler Lagen*

Render-Verfahren für die Erstellung multipler attributspezifischer Bildsequenzen (s. Pass) durch Isolation einzelner Attribute

OVER-SAMPLING - *Überabtastung*

Anti-Aliasing-Technik (s. Anti-Aliasing) zur Abtastung der Computergrafik (s. Sampling) auf Grundlage mehrerer Samples (s. Sample) als Bildpunkte

PACKSHOT - *Packungseinstellung*

Darstellung/Abbildung des beworbenen Produktes in einem Shot (s. Shot)

PARENT - *Elternteil, Vorgänger*

Übergeordneter Kontrollpunkt eines Rigs/Armatures (s. Armature, Rigging)

PASS - *Lage, Attributebene*

Zweidimensionale Lage isolierter Attribute

PENUMBRA - *Halbschatten*

Halbschatten eines Spotlights (s. Spotlight) zur Imitation weicher Schattenkanten

PHOTOMATIC - *Foto-Animation*

Zweidimensionale digitale Bildfolge von Fotografien (s. Storyboard)

POINT LIGHT - *Punktlichtquelle*

Einfachste Lichtquelle (s. Light) im dreidimensionalen Raum ohne Größe

POLYGON - *Vieleck*

Geometrischer Begriff, Vereinigung von Face (s. Face), Edges (s. Edge) und Vertices (s. Vertex)

R**RAY** - *Strahl, Lichtstrahl*

Ausgesandter, gradliniger Strahl im dreidimensionalen Raum

RAYTRACING - *Strahlenverfolgung*

Auf Aussendung von Strahlen (s. Ray) basierender Algorithmus zur Verdeckungsrechnung

REFLECTION MAP - *Reflexionsabbildung*

Abbildung der Umgebung des spiegelnden Objekts als Bilddatei

REFRAKTION - *Strahlenbrechung, Lichtbrechung*

Brechung des Lichtes beim Durchqueren transparenter Medien

RELIGHTING - *Umleuchten*

Anpassung der Beleuchtung dreidimensionaler Szenen durch das Compositing-Departement (s. Compositing) auf Grundlage der Oberflächennormalen

REST POSITION - *Ausgangsposition, Ruhestellung*

Neutrale Pose eines Modells ohne extreme Verformungen als Ausgangsform der Animation

RIGGING - *Einrichten, rüsten, einstellen*

Arbeitstechnik der 3D-Animation, Konstruktion eines Skeletts (s. Armature) für die Bewegung der einzelnen Mesh-Abschnitte (s. Mesh) und Positionierung des Modells

RIM LIGHT - *Konturlicht*

Lichtquelle (s. Light) des Prinzips der Dreipunktbeleuchtung zur Definition von Objektkonturen

RETOUCHE - *Retusche, Nachbesserung*

Compositing-Technik (s. Compositing) zur Ausbesserung und nachträglichen Veränderung von Bilddaten

S**SAMPLE** - *Beispiel, Probe, Abtastwert*

Abtastwert der Farbinformationen einer Computergrafik

SAMPLING - *Abtastung, Probeentnahme*

Abtastung und Konvertierung stufenloser Farbwerte in abgestufte Farbbereiche bei der Erzeugung eines RGB-Bildes aus dreidimensionalen Szenen

SECONDARY ACTION - *Sekundärhandlung*

Animationsprinzip, Berücksichtigung von durch die Haupthandlung hervorgerufenen Nebeneffekten

SHADER - *Schattierungswerkzeug*

Schattierungswerkzeug zur Beschreibung von Materialeigenschaften einer Oberfläche

SHAPE - *Form, Gestalt, Ausprägung*

Modellierter Ausdruck, hier: Gesichtsausdruck

SHOT - *Einstellung*

Durchgängige Folge von Einzelbildern ohne Unterbrechung durch Schnitte

SKINNING - *Häutung, Hautbildung*

Methode zur Verbindung von Mesh (s. Mesh) und Armature (s. Armature)

SOFT SELECTION - *Weiche Auswahl*

Modellierungstechnik zur automatischen Mesh-Gewichtung (s. Mesh), organische Modellierung von Geometrien ohne einzelne Vertices (s. Vertex) manuell modifizieren zu müssen

SPECULAR - *Glanzlicht, Highlight-Reflex*

Durch die Lichtquelle (s. Light) hervorgerufener Highlight-Reflex bei der gerichteten Reflexion (s. Specular Reflection)

SPECULAR REFLECTION – *Spiegelnde, gerichtete Reflexion*

Reflexionsart, gerichtete Reflexion des Lichtes auf glatten Oberflächen

SPECULAR SHADER - *Spiegelnder Schattierer*

Schattierungswerkzeug zur Simulation des Lichtes bei gerichteten Reflexionen (s. Specular Reflection) und auftretenden Highlight-Reflexen (s. Specular)

SPOTLIGHT - *Positionslichtquelle*

Lichtquelle (s. Light) im dreidimensionalen Raum mit multiplen Einstellungsmöglichkeiten

SQUASH UND STRETCH - *Stauchung und Streckung*

Animationsprinzip, Verformung von Körpern unter Erhalt der Körpermasse

STAGING - *Inszenierung*

Animationsprinzip, Arrangement von Elementen einer Szene

STOP-MOTION-TECHNIK - *Stopptrick*

Animationstechnik zur Animation von Objekten durch Einzelbilder (s. Frame) und geringfügige Änderung der Szene für jedes Bild

STORYBOARD - *Ablaufplan, Szenenbuch*

Skizzenhafte Darstellung des Films zur Planung des Ablaufs

SUBDIVIDING - *Untergliederung*

Modellierungs- u. Render-Verfahren als Verfeinerungsschema polygonaler Oberflächen (s. Mesh) durch präzisere Unterteilung in Stufen

SUBPIXEL-SAMPLING - *Zwischenpixel-Abtastung*

Anti-Aliasing-Technik (s. Anti-Aliasing) zur Abtastung der Computergrafik (s. Sampling) durch Unterteilung der Bildpunkte

SUBSURFACE SCATTERING - *Volumenstreuung*

Shading-Verfahren zur Simulation der Lichtstreuung in transluzenten Körpern

T - Z**TRAIL-AND-ERROR** - *Versuch und Irrtum*

Problemlösungsmethode, Probieren von Lösungsmöglichkeiten bis die gewünschte Lösung gefunden ist

TV COMMERCIAL – *Fernsehwerbefilm*

Im Fernsehen ausgestrahlter Werbefilm

VERTEX - *Knoten, Eckpunkt*

Geometrischer Begriff, Punkt im dreidimensionalen Raum

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hamburg, den 24. August 2012

Hans Hartmann